

SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA COMO RECURSO EN PROCESOS INDUSTRIALES

**PAULA ANDREA ARISTIZÁBAL MONSALVE
SUSANA CORREA MONTOYA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil (Paula
Aristizábal) e Ingeniera Industrial (Susana Correa)**

**Oscar Fabián Morantes Delgado
Ingeniero Industrial – Ingeniero Electricista- Físico**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENIERIA CIVIL E INGENIERIA INDUSTRIAL
ENVIGADO
2015**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

AGRADECIMIENTOS

A las empresas participantes

Por estar dispuestos a escucharnos, compartir nuestras ideas y brindarnos el apoyo e información que hizo posible este trabajo de investigación.

A las empresas seleccionadas

Por abrirnos sus puertas, recibirnos cuando lo necesitamos y compartir todo su conocimiento con nosotros para el desarrollo de este trabajo.

A nuestro director de trabajo de grado y nuestros asesores

Por la paciencia y el apoyo. Porque los elegimos como expertos en el tema de nuestra tesis y no nos defraudaron.

A nuestros padres

Por creer en nosotros desde el inicio y hacer todo lo posible para que con mucho esfuerzo lográramos culminar con esta etapa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN.....	22
1. PRELIMINARES.....	23
1.1 Planteamiento del problema	23
1.1.1 Contexto y caracterización del problema	23
1.1.2 Formulación del problema	24
1.2 Objetivos del proyecto	24
1.2.1 Objetivo General.....	24
1.2.2 Objetivos Específicos	24
1.3 Marco de referencia.....	25
1.3.1 Fuentes de abastecimiento de agua	25
1.3.2 Sistemas de drenaje convencionales.....	26
1.3.3 Sistema de recolección de agua lluvia tradicional.....	27
1.3.4 Sistemas urbanos de drenaje sostenible	28
1.3.5 El agua en la industria	32
1.3.6 Calidad del agua en las industrias	33
1.3.7 Marco legal del agua en Colombia.....	35
1.3.8 CERTIFICACIÓN LEED	37
1.4 Aporte del drenaje sostenible para la certificación LEED	39
1.4.1 Puntos por recolección de agua lluvia	39
1.4.2 Puntos aplicables para el proyecto específico	40

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.5	Hipótesis.....	41
2.	METODOLOGÍA.....	42
3.	CONSUMO DE AGUA EN LAS INDUSTRIAS COLOMBIANAS	43
3.1	Principales fuentes de obtención de agua de las industrias colombianas	43
3.2	Sectores industriales con mayor consumo de agua.....	44
3.3	Datos obtenidos en las visitas	48
3.4	Análisis de la información suministrada por las empresas visitadas	52
3.4.1	Consumo mensual promedio.....	52
3.4.2	Porcentaje de agua potable a reemplazar	53
3.4.3	Costo de suministro de agua	55
3.4.4	Interés a futuro	58
3.5	Calidad del agua.....	58
4.	SELECCIÓN DE LAS EMPRESAS A EJECUTAR EL ESTUDIO.....	63
4.1	El agua en el sector de piezas de automóviles	65
4.2	El agua en el sector de productos químicos de especialidad.....	65
5.	MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA EN LAS EMPRESAS DEL VALLE DE ABURRÁ.....	67
5.1	Método de recolección de agua lluvia elegido	69
6.	MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DEL DRENAJE SOSTENIBLE.....	70
6.1.1	Armado de los módulos del tanque de almacenamiento.....	70
6.1.2	Instalación del tanque de almacenamiento	70
7.	DISEÑO DEL DRENAJE SOSTENIBLE	74
7.1	Empresa manufacturera de embragues.....	74

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

7.1.1	Descripción de los procesos a abastecer.....	74
7.1.2	Cantidad de agua requerida para el abastecimiento de los procesos	76
7.1.3	Determinación de la precipitación promedio	79
7.1.4	Análisis de los datos de precipitación	81
7.1.5	Área de captación.....	85
7.1.6	Oferta vs Demanda de agua.....	86
7.1.7	Ubicación del tanque de almacenamiento	91
7.1.8	Techos necesarios para suplir la demanda de agua.....	91
7.1.9	Volumen de almacenamiento	92
7.1.10	Conexión captación-tanque	96
7.1.11	Conexión captación-tanque	96
7.1.12	Tanque de filtración y almacenamiento	102
7.1.13	Red de distribución de agua lluvia a los procesos y sistema de bombeo..	111
7.2	Empresa productora de bienes de caucho.....	121
7.2.1	Descripción de los procesos a abastecer.....	121
7.2.2	Cantidad de agua requerida para el abastecimiento de los procesos	122
7.2.3	Determinación de la precipitación promedio	125
7.2.4	Análisis de los datos de precipitación	126
7.2.5	Área de captación.....	127
7.2.6	Oferta vs Demanda de agua.....	128
7.2.7	Ubicación del tanque de almacenamiento	132
7.2.8	Techos necesarios para suplir la demanda de agua.....	133

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

7.2.9	Volumen de almacenamiento	134
7.2.10	Conexión captación-tanque	137
7.2.11	Tanque de filtración y almacenamiento	139
7.2.12	Red de distribución de agua lluvia a los procesos y sistema de bombeo..	145
8.	COSTO DEL DRENAJE SOSTENIBLE	152
8.1	Empresa manufacturera de embragues.....	152
8.1.1	Costos de mantenimiento	152
8.1.2	Costos de operación.....	153
8.1.3	Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante	153
8.1.4	Costo de la red de distribución	155
8.1.5	Costo del drenaje sostenible.....	155
8.1.6	Costo inversión inicial	156
8.2	Empresa productora de bienes de caucho.....	157
8.2.1	Costos de mantenimiento	157
8.2.2	Costos de operación.....	158
8.2.3	Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante	158
8.2.4	Costo de la red de distribución	159
8.2.5	Costo total del drenaje sostenible.....	160
8.2.6	Costo inversión inicial	161
9.	VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA	162
9.1	Escenario 1: Condiciones normales.....	162
9.1.1	Empresa manufacturera de embragues.....	163

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

9.1.2	Empresa productora de bienes de caucho.....	164
9.2	Escenario 2: Desarrollo tecnológico por parte de la empresa Aquatectura y aumento considerable del precio de suministro de agua potable en el país debido a la escasez.....	165
9.2.1	Empresa manufacturera de embragues.....	166
9.2.2	Empresa productora de bienes de caucho.....	166
9.3	Escenario 3: DESARROLLO TECNOLÓGICO POR PARTE de la empresa aquatectura, Vida útil convencional de un activo y el porcentaje de aumento anual correspondiente	168
9.3.1	Empresa manufacturera de embragues.....	169
9.3.2	Empresa productora de bienes de caucho.....	170
9.4	Otros escenarios	170
9.4.1	Situación mundial en la actualidad.....	170
9.4.2	Viabilidad económica del método tradicional de recolección de agua.....	171
9.4.3	Cambio en el 200% de la demanda mensual de agua	173
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	177
	ANEXOS	179
	BIBLIOGRAFÍA.....	181

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 Beneficios económicos obtenidos por incentivos tributarios y fiscales de carácter ambiental, según tipo de incentivo	37
Tabla 2 Puntos LEED para el proyecto	40
Tabla 3 Principales fuentes de obtención de agua.....	43
Tabla 4 Demanda hídrica nacional	44
Tabla 5 Demanda hídrica nacional proyectada al 2019.....	45
Tabla 6 Clasificación de las empresas visitadas según Dow Jones	49
Tabla 7 Datos Encuestas.....	50
Tabla 8 Costo mensual del suministro de agua	55
Tabla 9 Cantidad de dinero a ahorrar por mes.....	57
Tabla 10 Parámetros de calidad del agua empresa manufacturera de embragues.....	60
Tabla 11 Parámetros de calidad del agua empresa ensambladora de automóviles.....	61
Tabla 12 Verificación de la calidad del agua requerida por las empresas	62
Tabla 13 Criterios de selección de las empresas.....	63
Tabla 14 Consumo de agua industrial empresa manufacturera de embragues.....	76
Tabla 15 Volumen total efectivo de agua industrial.....	78
Tabla 16 Precipitaciones totales Estación Olaya Herrera.....	79
Tabla 17 Índice ONI - Niños y Niñas Históricos (2003-2015)	84
Tabla 18 Área techos y área verde empresa manufacturera de embragues	86
Tabla 19 Coeficiente de escorrentía	87
Tabla 20 Oferta mensual de agua lluvia Empresa manufacturera de embragues	88

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 21 Oferta vs Demanda Empresa manufacturera de embragues.....	90
Tabla 22 Oferta mensual aportada por una sección de techo Empresa manufacturera de embragues.....	92
Tabla 23 Verificación de la oferta de techos elegidos Empresa manufacturera de embragues.....	93
Tabla 24 Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia Estación Olaya Herrera	97
Tabla 25 Características canaleta Empresa manufacturera de embragues	98
Tabla 26 Dimensiones sección de canaleta Código colombiano de fontanería	99
Tabla 27 Características bajantes Empresa manufacturera de embragues	101
Tabla 28 Dimensión tubería vertical-bajante-Código colombiano de fontanería.....	101
Tabla 29 Dimensiones módulos Flow-Tank	103
Tabla 30 Dimensiones celda de drenaje	103
Tabla 31 Cálculo de cantidad de módulos Flowtank Empresa Manufacturera de Embragues	105
Tabla 32 Dimensiones módulo doble	105
Tabla 33 Dimensiones área verde disponible	106
Tabla 34 Cálculo de módulos en el tanque	106
Tabla 35 Dimensiones tanque	106
Tabla 36 Cálculo dimensiones excavación	107
Tabla 37 Cálculo volúmenes finales.....	107
Tabla 38 Cantidad celdas de drenaje.....	107
Tabla 39 Cálculos geotextil.....	108
Tabla 40 Cálculos finales.....	108
Tabla 41 Volumen de agua a conducir por proceso Empresa manufacturera de embragues	112

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 42 Diámetros Red de distribución Empresa manufacturera de embragues.....	114
Tabla 43 Caudal y tiempo de llenado Red de distribución Empresa manufacturera de embragues.....	115
Tabla 44 Longitud de tuberías recorrido Torre de enfriamiento-Empresa manufacturera de embragues.....	115
Tabla 45 Longitud de tuberías recorrido Planta de limpieza-Empresa manufacturera de embragues.....	116
Tabla 46 Pérdidas por fricción -Empresa manufacturera de embragues.....	116
Tabla 47 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes.....	117
Tabla 48 Sumatoria de coeficiente de pérdidas locales Empresa manufacturera de embragues-Torre de enfriamiento.....	117
Tabla 49 Sumatoria de coeficiente de pérdidas locales Empresa manufacturera de embragues-Planta de limpieza.....	117
Tabla 50 Pérdidas locales Red de distribución Empresa manufacturera de embragues	118
Tabla 51- Energía necesaria bomba-Empresa manufacturera de embragues - Torre de enfriamiento.....	118
Tabla 52Energía necesaria bomba-Empresa manufacturera de embragues - Planta de limpieza	118
Tabla 53 Potencia de la bomba	119
Tabla 54 Consumo de agua Empresa productora de bienes de caucho	122
Tabla 55 Consumo promedio diario Empresa productora de bienes de caucho.....	123
Tabla 56 Volumen total efectivo Empresa productora de bienes de caucho	124
Tabla 57 Precipitaciones totales Estación Universidad CES Sabaneta.....	125
Tabla 58 Áreas techo y área verde Empresa productora de bienes de caucho.....	128
Tabla 59 Oferta mensual de agua lluvia Empresa productora de bienes de caucho	130
Tabla 60 Oferta vs Demanda de agua empresa productora de bienes de caucho	131

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 61 Oferta mensual aportada por una sección de techo Empresa productora de bienes de caucho.....	134
Tabla 62 Verificación de la oferta de techos elegidos Empresa productora de bienes de caucho.....	135
Tabla 63 Características canaleta Empresa productora de bienes de caucho	138
Tabla 64 Características bajantes Empresa productora de bienes de caucho	139
Tabla 65 Profundidad del nivel freático Empresa productora de bienes de caucho.....	140
Tabla 66 Cálculo de cantidad de módulos Flow-Tank Empresa manufacturera de embragues.....	141
Tabla 67 Dimensiones área verde disponible	142
Tabla 68 Cálculo de módulos en el tanque	142
Tabla 69 Dimensiones tanque	142
Tabla 70 Cálculo dimensiones excavación	142
Tabla 71 Cálculo volúmenes finales.....	143
Tabla 72 Cantidad celdas de drenaje.....	143
Tabla 73 Cálculos geotextil.....	143
Tabla 74 Cálculos finales.....	143
Tabla 75 Diámetros Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho.....	148
Tabla 76 Caudal y tiempo de llenado Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho.....	149
Tabla 77 Longitud de tuberías recorrido Torre de enfriamiento-Empresa productora de bienes de caucho.....	149
Tabla 78 Pérdidas por fricción -Empresa productora de bienes de caucho.....	149
Tabla 79 Sumatoria de coeficiente de pérdidas locales Empresa productora de bienes de caucho.....	149

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 80 Pérdidas locales Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho	150
Tabla 81- Energía necesaria bomba-Empresa manufacturera de embragues - Torre de enfriamiento.....	150
Tabla 53 Potencia de la bomba	150
Tabla 82 Costo mantenimiento empresa manufacturera de embragues	153
Tabla 83 Costo de operación Bomba Hidráulica Empresa manufacturera de embragues	153
Tabla 84 Variación en tarifas Empresa manufacturera de embragues.....	154
Tabla 85 Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante	154
Tabla 86 Inversión inicial necesaria Empresa manufacturera de embragues.....	156
Tabla 87 Costo mantenimiento Empresa productora de bienes de caucho.....	158
Tabla 88 Costo de operación Bomba Hidráulica Empresa productora de bienes de caucho	158
Tabla 89 Variación en tarifas Empresa productora de bienes de caucho.....	158
Tabla 90 Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante	159
Tabla 91 Inversión inicial necesaria Empresa manufacturera de embragues.....	161
Tabla 92 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 1- Empresa manufacturera de embragues.....	163
Tabla 93 VPN escenario 1 - CN – Empresa manufacturera de embragues.....	163
Tabla 94 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 1 - Empresa productora de bienes de caucho.....	164
Tabla 95 VPN escenario 1 - CN - Empresa productora de bienes de caucho	164
Tabla 96 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 2 - - Empresa manufacturera de embragues.....	166
Tabla 97 VPN Escenario 2 - Empresa manufacturera de embragues	166

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 98 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 2 – Empresa productora de bienes de caucho.....	166
Tabla 99 VPN escenario 2 - Empresa productora de bienes de caucho	168
Tabla 100 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues.....	169
Tabla 101 VPN Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues	169
Tabla 102 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 3 - Empresa productora de bienes de caucho.....	170
Tabla 103 VPN escenario 3 Empresa productora de bienes de caucho.....	170
Tabla 104 Costo del sistema tradicional para el caso	172
Tabla 105 VPN Instalación Sistema tradicional.....	173
Tabla 106 Aumento de la demanda de agua	174
Tabla 107 Potencial de ahorro-Caso aumento demanda	176

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE FIGURAS

pág.

Ilustración 1 Captación común agua lluvia	25
Ilustración 2 Sistema de superficies permeables	30
Ilustración 3 Especificaciones técnicas Celda de Drenaje de 52 mm	30
Ilustración 4 Tanques de almacenamiento.....	31
Ilustración 5 Módulo Flow-Tank	31
Ilustración 6 Diseño de drenajes viales.....	31
Ilustración 7 Niveles de certificación LEED	38
Ilustración 8 Fuentes de obtención de agua Industrias Colombianas.....	43
Ilustración 9 Demanda Hídrica proyectada al 2019.....	46
Ilustración 10 Consumo mensual promedio de agua empresas encuestadas	52
Ilustración 11 Consumo actual de agua potable	53
Ilustración 12 Requerimiento de agua potable y no potable empresas encuestadas	54
Ilustración 13 Costo por metro cubico empresas encuestadas	56
Ilustración 14 Porcentaje de oportunidad del proyecto.....	57
Ilustración 15 Calidad del agua del drenaje sostenible	59
Ilustración 16 Criterios de selección empresas	64
Ilustración 17 Resistencias por cantidad de paneles cortos	70
Ilustración 18 Armado de módulo triple.....	70
Ilustración 19 Excavación del tanque.....	70
Ilustración 20 Preparación de la base	71

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 21 Colocación de la Geomembrana.....	71
Ilustración 22 Instalación geotextil	71
Ilustración 23 Instalación de la matriz	72
Ilustración 24 Instalación del tubo de inspección	72
Ilustración 25 Fijación de geotextil	72
Ilustración 26 Compactación del relleno lateral.....	73
Ilustración 27 Torre de enfriamiento Empresa manufacturera de embragues	74
Ilustración 28 Calentamiento del embrague-Empresa productora de embragues	75
Ilustración 29 Ingreso del disco de embrague caliente al agua helada.....	75
Ilustración 30 Enfriamiento del disco de embrague en el tanque de temple.....	75
Ilustración 31 Planta de limpieza empresa manufacturera de embragues	75
Ilustración 32 Consumo promedio Torre de enfriamiento Empresa manufacturera de embragues.....	77
Ilustración 33 Consumo promedio Planta de limpieza Empresa manufacturera de embragues.....	77
Ilustración 34 Consumo Tanque de temple (m ³)	78
Ilustración 35 Precipitaciones totales mensuales Estación Olaya Herrera(2010-2014)	81
Ilustración 36 Precipitaciones totales mensuales promedio (2000-2015)	82
Ilustración 37 Precipitaciones totales anuales Estación Olaya Herrera (2000-2015).....	82
Ilustración 38 Esquema de la planta de producción de la empresa manufacturera de embragues.....	85
Ilustración 39 Esquema áreas techos y área verde Empresa manufacturera de embragues	85
Ilustración 40 Oferta VS Demanda de agua Empresa manufacturera de embragues	90

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 41 Ubicación tanque de almacenamiento Empresa manufacturera de embragues.....	91
Ilustración 42 Área elegida para la captación Empresa manufacturera de embragues	91
Ilustración 43 Abastecimiento de agua Empresa manufacturera de embragues	95
Ilustración 44 Fotografía bajantes Empresa manufacturera embragues	96
Ilustración 45 Curva IDF Estación Olaya Herrera.....	97
Ilustración 46 Esquema de ubicación canaletas Empresa manufacturera de embragues	98
Ilustración 47 Bajantes empresa manufacturera de embragues.....	101
Ilustración 48 Detalle celda de drenaje	103
Ilustración 49 Detalle módulo doble	106
Ilustración 50 Vista en planta Drenaje sostenible Empresa manufacturera de embragues	110
Ilustración 51 Vista lateral Drenaje sostenible Empresa manufacturera de embragues .	110
Ilustración 52 Esquema procesos Empresa manufacturera de embragues.....	111
Ilustración 53 Sección 1 Red de distribución Empresa manufacturera de embragues-Longitudes.....	112
Ilustración 54 Sección 1 Red de distribución Empresa manufacturera de embragues- Accesorios.....	112
Ilustración 55 Sección 2 Red de distribución Empresa manufacturera de embragues-Vista lateral exterior.....	113
Ilustración 56 Sección 3 Red de distribución- Empresa manufacturera de embragues ..	113
Ilustración 57 Detalle Red de distribución a planta de limpieza.....	114
Ilustración 58 Detalle Red de distribución a torre de enfriamiento.....	114
Ilustración 59 Bomba hidráulica Empresa manufacturera de embragues.....	119
Ilustración 60 Curva característica de la bomba hidráulica Empresa manufacturera de embragues.....	120

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 61 Rodillos aplanadores de pasta.....	122
Ilustración 62 Pasta de caucho luego del proceso de corte	122
Ilustración 63 Producto de caucho extruido Empresa productora de bienes de caucho .	122
Ilustración 64 Proceso de extrusión del caucho	122
Ilustración 65 Consumo mensual Empresa productora de bienes de caucho	123
Ilustración 66 Precipitaciones totales mensuales Estación Universidad CES Sabaneta	126
Ilustración 67 Precipitaciones totales anuales Universidad CES Sabaneta.....	127
Ilustración 68 Esquema de la planta de producción de la empresa productora de bienes de caucho	127
Ilustración 69 Esquema áreas techos y área verde Empresa productora de bienes de caucho	128
Ilustración 70 Oferta vs Demanda de agua Empresa productora de bienes de caucho .	132
Ilustración 71 Ubicación tanque de almacenamiento Empresa productora de bienes de caucho	132
Ilustración 72 Área elegida para la captación Empresa productora de bienes de caucho	133
Ilustración 73 Abastecimiento de agua Empresa productora de bienes de caucho	136
Ilustración 74 Fotografía bajantes Empresa productora de bienes de caucho	137
Ilustración 75 Esquema de ubicación canaletas Empresa productora de bienes de caucho	138
Ilustración 76 Bajantes empresa productora de bienes de caucho	139
Ilustración 77 Vista en planta Drenaje sostenible Empresa productora de bienes de caucho	144
Ilustración 78 Vista lateral Drenaje sostenible Empresa productora de bienes de caucho	144
Ilustración 79 Esquema procesos Empresa productora de bienes de caucho.....	145

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 80 Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho.....	145
Ilustración 81 Sección 1 (Perfil) Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho.....	146
Ilustración 82 Sección 1 Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho (longitudes).....	147
Ilustración 83 Sección 1 Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho (accesorios).....	147
Ilustración 84 Sección 2 Red de distribución- Empresa productora de bienes de caucho	148
Ilustración 85 Bomba hidráulica Empresa productora de bienes de caucho.....	151
Ilustración 86 Curva característica de la bomba hidráulica Empresa productora de bienes de caucho	151
Ilustración 87 Presupuesto Red de distribución de agua Empresa manufacturera de embragues.....	155
Ilustración 88 Presupuesto Drenaje Sostenible Empresa manufacturera de embragues	156
Ilustración 89 Presupuesto Red de distribución de agua Empresa manufacturera de embragues.....	160
Ilustración 90 Presupuesto Drenaje Sostenible Empresa productora de bienes de caucho	161
Ilustración 91 Presupuesto Sistema Tradicional	172
Ilustración 92 Abastecimiento agua lluvia y potable-Caso Aumento demanda.....	175

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1 Archivo de Excel de Empresa manufacturera de embragues.....	179
Anexo 2 Archivo de Excel de Empresa productora de bienes de caucho.....	179
Anexo 3 Archivo de Excel del análisis de otros escenarios.....	179
Anexo 4 Archivo de AutoCAD 3D de la Empresa manufacturera de embragues	179
Anexo 5 Archivo de AutoCAD 3D de la Empresa productora de bienes de caucho	179
Anexo 6 Archivo de AutoCAD del diseño de tanques de almacenamiento de las empresas	179
Anexo 7 Archivo de AutoCAD de la vista en planta de la Empresa manufacturera de embragues.....	180
Anexo 8 Archivo de AutoCAD de la vista en 3D y en planta de la Empresa productora de bienes de caucho.....	180

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

RESUMEN

Para hacerle frente a la problemática mundial de la escasez del agua, los gobiernos e industrias deben realizar acciones conjuntas de transformación y planificación estratégica que orienten a la ejecución de prácticas de producción en donde se reduzca la utilización del agua potable. En este estudio se evalúa la viabilidad técnico-económica de un sistema de recolección de agua lluvia, denominado SUDS (Sistema de drenaje sostenible), aplicado a dos industrias situadas en el Valle de Aburrá.

La primera parte del trabajo se basa en un análisis de los consumos de agua por sector industrial, para el efecto se visitaron nueve empresas y se seleccionaron dos con alto potencial de ahorro de agua de acueducto que es actualmente usada en procesos que no solicitan aguas de alta calidad; además se preguntó a las empresas que ya contaban con un sistema de gestión de agua lluvia en qué consistía su sistema y cuál era su utilidad, en lo que encontramos que en el Valle de Aburrá no se ha implementado ningún método de recolección innovador o diferente al tradicional, lo que se considera como una ventaja al ofrecer la tecnología SUDS.

La segunda parte del estudio consta en desarrollar el diseño del drenaje sostenible, este lo componen: un tanque de estructura modular de polipropileno acompañado de materiales filtrantes como geotextiles, gravilla y una membrana de PVC entre otros elementos que hacen que el agua lluvia obtenga características mejoradas al ingresar al tanque, para completar el diseño del drenaje se calculó la conducción del lugar de captación al tanque y del tanque a cada uno de los procesos que se requiere abastecer.

La tercera y última parte del trabajo presenta el presupuesto tanto de la inversión inicial necesaria para su instalación, como los costos asociados a su operación y mantenimiento, y compara estos resultados con el ahorro de agua potable obtenido, analizando tres escenarios: el primero en condiciones normales, en el cual se encontró que el proyecto no es viable debido al alto costo de la tecnología propuesta y el bajo costo del agua en el país; el segundo y el tercero suponiendo que por situación de escasez de agua el valor de este recurso se eleve y que la empresa productora del drenaje realice un desarrollo tecnológico para eliminar la necesidad de importar, disminuir el costo de la inversión del proyecto, y así mostrar la combinación de factores que harían el proyecto viable en un posible futuro.

Palabras clave: Agua lluvia, sistema de drenaje sostenible, procesos industriales, viabilidad, ahorro.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

ABSTRACT

To address the global problem of water scarcity, governments and industries should develop joint actions of transformation and strategic planning to guide the implementation of production practices that reduce the use of water. This study evaluates the technical and economic viability of a system for collecting rainwater, called SUDS (sustainable drainage system), applied in two industries located in the Valley of Aburrá.

The first part of the work is based on an analysis of water consumption by the industrial sector, for that purpose, nine companies were visited and two were selected, as the ones that had high potential for saving water that is currently used in processes that do not need high quality water. Additionally, the companies that already had a system for managing rainwater were asked about their system and how useful it was. The results found were that in the Valley of Aburrá no companies had implemented an innovative method or different form the traditional collection method, which is considered as an advantage to provide the SUDS technology.

The second part of the study consists in developing the sustainable drainage system design. This is composed of a modular tank structure made of polypropylene and filter materials such as gravel and a PVC membrane among other elements that improve rainwater characteristics after entering the tank. To complete the design the conduction from the roof to the tank and from the tank to each of the processes was calculated.

The third and final part of the paper presents the budget of both the initial investment required for the installation, and the costs associated with operation and maintenance. It also compares these results with the potable water savings obtained, by analyzing three scenarios. The first with standard conditions, where it was found that the project is not viable due to the high cost of the proposed technology and the low cost of water in the country. The second and third situations are assuming that water scarcity increments the value of this resource; and that the producer of the drainage performs a technological development to eliminate the need for imports, reducing the cost of the project investment, and thus show the combination of factors that would make the project viable in a possible future.

Key words: rainwater, sustainable drainage system, industrial processes, viability, savings.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

INTRODUCCIÓN

Medellín es una ciudad en constante desarrollo, en los últimos años ha aumentado enormemente su nivel de desarrollo industrial, por lo cual se ha convertido en uno de los más importantes centros de producción industrial y comercial del país.(Inexmoda, 2015)

El rápido desarrollo de la ciudad, indica una mayor demanda del uso del agua para las actividades productivas; Medellín es una ciudad rica en recursos naturales y las industrias encuentran esto atractivo para ubicar sus plantas cerca de los ríos, donde pueden obtener agua potable de manera gratuita.

Uno de las problemáticas actuales de la humanidad es la escasez de agua potable, la preservación de este vital recurso es responsabilidad de todos los ciudadanos, en vista de esto, se busca concientizar a las empresas de la importancia de la gestión del agua en sus procesos, así mismo ofrecerles una alternativa para comenzar a aprovechar el agua lluvia y que puedan incorporarla en procesos de producción que no necesiten agua potable.

En este estudio se pretende ofrecer a las empresas ubicadas en Valle de Aburrá la aplicación en sus instalaciones de un drenaje sostenible para la captación de agua lluvia, el cual estaría construido con materiales filtrantes como polímeros y textiles que lograrían que el agua captada resulte libre de partículas, y cuente con la calidad suficiente para ser utilizada en reemplazo del agua potable en algunos procesos de producción.

El proyecto propone una alternativa para aquellas industrias que usan agua potable o que toman el agua de pozos o ríos, para hacerle un tratamiento previo al uso, utilizando el agua lluvia filtrada por los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible), se obtiene una calidad suficiente para ser utilizada en sus procesos secundarios como enfriamiento, calentamiento y producción de energía. Esto genera un ahorro en costos de recolección de agua y tratamiento.

Se presentó a las empresas seleccionadas el diseño adecuado para cada una de ellas, teniendo en cuenta el área disponible para la captación del agua lluvia, y el debido sistema de distribución a cada uno de los procesos de destinación de este recurso.

Además de la realización del diseño se analiza la viabilidad técnico-económica del sistema de drenaje, mediante un comparativo de costos, en donde el estimado del costo inicial para la construcción del drenaje se comparará con el costo del suministro actual del agua en la empresa, con el fin de determinar los beneficios de emplear un sistema de drenaje sostenible y hacer un uso eficiente del agua.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Contexto y caracterización del problema

La actividad humana es responsable del deterioro de los recursos hídricos; el rápido desarrollo de las ciudades, el incremento en la población mundial, la sobreexplotación y en general la actitud irresponsable y desinteresada del hombre hacia la protección de los recursos naturales ha provocado un decremento en la disponibilidad y en la calidad del agua disponible y necesaria para la supervivencia de cualquier comunidad, además de las serias implicaciones a nivel político, social, ambiental y de la salud (Ávila García, 2003a).

Actualmente las consideraciones ambientales para el uso del agua tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vía de desarrollo, son un asunto de prioridad, en estas condiciones las empresas deben comprometerse a actuar en favor del tema y estar a la altura de las exigencias de políticas internacionales para el cuidado de este recurso (Ávila García, 2003b).

Uno de los problemas actuales y que generan gran preocupación es la escasez de agua potable. Con este proyecto se desea hacer un aporte para contribuir a la preservación de este recurso, ofreciendo una alternativa a la industria para aprovechar el agua lluvia, evitando hacer uso de la que requieren las comunidades. Asimismo, la ejecución de estos procesos sostenibles que ayudan al uso eficiente de los recursos, generan beneficios a la empresa y mejoran su imagen corporativa.

Implementar programas de gestión integral del agua en las empresas colombianas es importante para lograr el desarrollo del país, para esto se deben tomar medidas en busca del mejoramiento de las prácticas en el manejo del agua, lograr concientizar a la sociedad de la importancia de este recurso y la necesidad de una buena administración. Lamentablemente a pesar de la imperante necesidad, los países en vía de desarrollo aún piensan que la protección al medio ambiente es un lujo que está lejos de sus posibilidades (Ávila García, 2003b).

Se debe valorar el agua lluvia por sus muchas cualidades, ya que por la forma en que cae, tiene una calidad óptima para muchos usos. Los sistemas de captación de agua lluvia actuales, debido a la contaminación ambiental no logran limpiar el agua en su totalidad, impidiendo el aprovechamiento de ésta, sin embargo, si se construyen sistemas de drenaje sostenibles que permitan captar y filtrar el agua lluvia para ser almacenada y posteriormente con calidad suficiente para ser utilizada, se puede generar un mayor aprovechamiento de este recurso.

La industria necesita agua para sus procesos de producción. No en todos los casos se utiliza como materia prima directa, por lo cual no es necesario que sea potable, pero sí que tenga una calidad específica para el proceso.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizan los Sistemas Urbanos de drenaje Sostenible ofrecidos por la empresa Aquatectura, representante exclusivo para Colombia de la empresa australiana Atlantis Corporation, líder mundial en el desarrollo de esta tecnología.

Para la industria manufacturera la calidad del agua captada y filtrada por los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), puede permitir su uso en procesos productivos tales como enfriamiento, calentamiento, funcionamiento de máquinas, producción de energía, entre otros.

1.1.2 Formulación del problema

Las industrias hacen un uso indebido del agua potable, al utilizarla en procesos que no requieren de alta calidad de agua, por lo cual es importante, que éstas busquen captar y utilizar el agua lluvia para su uso en procesos productivos, generando beneficios económicos propios y preservando el agua potable en beneficio de la comunidad.

El sistema de drenaje convencional actual es generador de problemas ambientales, lo que no contribuye al manejo del agua para su consumo. Además de esto, éste sistema no permite realizar una buena gestión de las aguas lluvias que pueden ser utilizadas en reemplazo del agua potable, para el uso del agua lluvia es necesaria la aplicación de sistemas de drenaje que permitan encauzar las aguas pluviales de la mejor forma para ser aprovechadas.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el aprovechamiento del agua lluvia como recurso en los procesos industriales mediante el uso de sistemas de drenaje sostenible.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar la calidad del agua que necesitan las empresas de dos sectores industriales diferentes en sus procesos productivos.
- Identificar métodos de recolección de agua lluvia, aplicables a las empresas evaluadas.

- Establecer el diseño, materiales, métodos de construcción, vida útil y costos asociados a la construcción, operación y mantenimiento de la tecnología propuesta en dos sectores industriales diferentes.
- Analizar la viabilidad técnico-económica del sistema de drenaje frente a fuentes alternativas de suministro de agua, en dos sectores industriales diferentes.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Fuentes de abastecimiento de agua

Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua es necesario definir no solo la ubicación, cantidad y calidad del agua a entregar, sino también la fuente o combinaciones de fuentes adecuadas para satisfacer los requerimientos.

Se consideran tres fuentes principales:

Agua lluvia

Es el agua proveniente de las precipitaciones, usualmente se emplea en casos en los que no es posible captar agua de fuentes superficiales o subterráneas de buena calidad, o cuando el nivel de pluviosidad es alto en la zona, por lo que se usan comúnmente sistemas de captación en techos (CEPES, n.d.).

En la Ilustración 1 (CEPES, n.d.) se muestra un sistema clásico de captación de lluvia por medio de techos, donde el agua es guiada por la gravedad hacia las cunetas que la conducen hacia un tanque para su aprovechamiento.

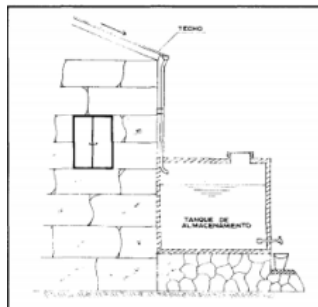


Ilustración 1 Captación común agua lluvia

Fuente: CEPES. (n.d.). FUENTES DE ABASTECIMIENTO. In Agua Potable (pp. 27–36)

Agua superficial

Las aguas superficiales son aquellas que corren naturalmente sobre la superficie terrestre en ríos, arroyos o lagos.(CEPES, n.d.)

Agua subterránea

Es el agua que se ha infiltrado en el suelo. Parte de la precipitación en las cuencas y va hasta la zona de saturación, su explotación depende de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero y se realiza mediante manantiales, galerías filtrantes y pozos excavados y tubulares(CEPES, n.d.).

1.3.2 Sistemas de drenaje convencionales

Un sistema de drenaje es un conjunto de elementos que permite la circulación por medios naturales o artificiales de las aguas en un terreno. El sistema que conduce las aguas empozadas por medio de tuberías o de una red de canales.(ARQUYS, 2014) se llama red de alcantarillado. Este transporta tanto el agua residual como el agua de lluvia, desde el lugar donde se genera hasta el sitio de vertimiento ya sea un cauce o una planta de tratamiento (Rincon et al, 2014).

Las redes de alcantarillado son estructuras construidas con tuberías y están usualmente enterradas bajo las vías públicas.(Oliveros, 2009)

Las comunidades requieren deshacerse de las aguas residuales; sin embargo la construcción de infraestructura urbana modifica el entorno natural en que habita el hombre. La creación de superficies impermeables que aumentan el volumen de agua sobre el terreno y la eliminación de los cauces naturales, reducen la capacidad de desalojo de las aguas pluviales y residuales, y es por ello, que es necesario diseñar conducciones con mayor capacidad de evacuación que las que tienen las corrientes naturales existentes (Comisión Nacional de Agua, 2007).

Elementos o componentes de un sistema de drenaje convencional

○ Captación

Las estructuras de captación recolectan las aguas a transportar. En los sistemas de alcantarillado pluvial, se utilizan como estructuras de captación sumideros o bocas de tormenta; también sirven como captación de aguas lluvias los techos y patios que vierten el agua por medio de canaletas. Las estructuras de captación se ubican en puntos bajos para permitir que el agua llegue mediante gravedad y a cierta distancia de las vías.

Para evitar el ingreso de objetos que obstruyan los conductos se instala una coladera pluvial más conocida como rejilla (Conagua, 2007).

○ **Conducción**

Son las estructuras encargadas de transportar el agua recolectada por la captación hasta el sitio de vertimiento. Según la importancia del conducto de la red se puede clasificar en (Conagua, 2007):

- Atarjeas: conductos de menor diámetro de la red, que descargan el agua a la mayoría de las estructuras de captación.
- Subcolectores: conductos de mayor diámetro que las atarjeas, que reciben aporte de dos o más atarjeas y las conducen hacia los colectores.
- Colectores: son los conductos de mayor diámetro de la red y representan la parte modular de las estructuras de alcantarillado, tienen como finalidad reunir toda el agua recolectada por los subcolectores y llevarla a la salida e inicio del emisor.
- Emisor: conduce las aguas hasta el vertimiento o tratamiento.

Los conductos se pueden construir en el sitio cerrados o abiertos, ser prefabricados como las tuberías de concretos simples, concretos reforzados, fibrocemento, poli cloruro de vinilo o polietileno. Las tuberías son comúnmente circulares.(Conagua, 2007)

○ **Descarga**

Se encargan de la descarga continua a una corriente receptora. Se clasifican como (Conagua, 2007):

- Conducto cerrado: cuando se quiere verter el agua a una corriente con una velocidad y dirección definida, se utiliza una estructura construida en mampostería, que la encauce (Conagua, 2007).
- Conducto abierto: la estructura consiste en un canal a cielo abierto cuyo ancho se amplía gradualmente hasta igualar el ancho de la corriente receptora, evitando la erosión del terreno natural y permitiendo la disminución de la velocidad (Conagua, 2007).

1.3.3 Sistema de recolección de agua lluvia tradicional

El sistema de captación de agua lluvia se compone de cuatro etapas: captación, recolección, interceptor y almacenamiento (Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural, 2003). A continuación se explican cada una de ellas:

- Captación: En esta etapa lo más importante es el área donde cae la lluvia. Existen factores importantes para una óptima captación: en cuanto al estado, debe ser

limpia, libre de fugas y ser uniforme, en cuanto a la dimensión, siempre se tiene que tener en cuenta la capacidad máxima de captación y la pluviosidad de la zona (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1994), en cuanto a los materiales con los que está hecha, no deben desprender ni olores ni sustancias que contaminen el agua o puedan afectar todo el proceso de captación (Hernández Martínez, n.d.).

- **Recolección:** Consiste en capturar el agua que se escurre del techo y conducirla hasta la tubería que la lleva al lugar de almacenamiento, estas canaletas deben tener un ancho óptimo que resista la capacidad máxima y el material con el que las construyen puede ser variado, ya que hay pocas restricciones en este tema. (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1994)
- **Interceptor:** Está conformado por las tuberías que llevan el agua hasta el lugar de almacenamiento. Estos deben ser preferiblemente de PVC (Hernández Martínez, n.d.).
- **Almacenamiento:** Sus características como tamaño y tipo de tanque pueden variar, pero existen aspectos importantes, como la limpieza periódica de este, la impermeabilidad y la existencia de una cubierta que pueda protegerlo de contaminantes (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1994).

1.3.4 Sistemas urbanos de drenaje sostenible

En la ponencia “Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”, Perales M (2008) define los SUDS de la siguiente manera:

Elementos integrantes de la infraestructura (urbano-hidráulico-paisajística) cuya misión es captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar al terreno el agua, de forma que ésta no sufra ningún deterioro e incluso permita la eliminación, de forma natural, de al menos parte de la carga contaminante que haya podido adquirir por procesos de escorrentía urbana previa. Todo ello tratando de reproducir, de la manera más fielmente posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación del hombre. (p. 3)

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible son aquellos que reducen tanto la cantidad de caudal de las escorrentías, como de contaminantes arrastrados por ellas, ya que se evita el arrastre de sólidos contaminantes durante una tormenta (Abellán, 2014).

Estos sistemas sostenibles surgen de la necesidad de enfrentar una de las problemáticas mundiales que es la escasez de agua y la degradación de los ecosistemas, en los últimos años se ha tratado de manejar el agua lluvia de manera alternativa a la convencional, teniendo en cuenta un desarrollo sostenible, y así dejar reproducir el ciclo hidrológico de manera natural, mitigando los problemas de calidad y cantidad de agua de las

escorrentías, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y maximizando tanto la integración paisajística como los valores sociales y ambientales(Alcaldía mayor de BOGOTÁ DC, 2011).

Principios de un sistema de drenaje sostenible

Entre sus objetivos se encuentran(Perales-Momparler, 2008):

- Preservar la calidad de las aguas receptoras de las escorrentías. Reducir el volumen de escorrentía, con la ayuda de elementos de retención y minimizando las áreas impermeables.
- Aumentar el valor del entorno con la integración de la gestión del agua lluvia en el paisaje.
- Reducir la demanda de agua potable al fomentar la reutilización de aguas pluviales y grises.

Etapas de un sistema de drenaje sostenible

○ Captación y filtración

Las estructuras utilizadas para la captación del agua lluvia, son superficies permeables que permiten el paso del agua y su filtración, lo que garantiza la captación y filtración directa del torrente sin posibilidad de arrastre de elementos contaminantes.

Una de las principales características de un sistema SUDS es el hecho de maximizar la captación de agua lluvia por procesos de filtración, lo que significa la preservación del agua captada (Atlantis, 2014).

En la Ilustración 2 se muestra un ejemplo de la estructura de captación de un drenaje sostenible propuesto por la empresa Aquatectura (Aquatectura, 2014). La estructura está compuesta de materiales filtrantes. Primero el agua pasa por una capa vegetal o por una superficie de asfalto. La segunda capa puede constituirse de arena o de arena con grava. Los siguientes niveles están conformados por una celda de polipropileno acompañado de geo textiles (Ilustración 3) los cuales permiten la retención de las partículas más pequeñas. Estas celdas poseen bordes que conectan dos o más celdas y hacen posible la creación de extensas superficies de drenaje.

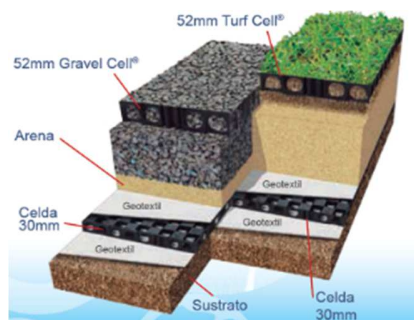


Ilustración 2 Sistema de superficies permeables
Fuente: Aquatectura. (2014). Catálogo Aquatectura 2014

Flo-Cell® 52mm (2.04")	
Flo-Cell® 52mm 680 grams (24 oz.) • W-Clip	
Part Number	BS2-WMD00A
Width	260mm (10.2")
Height	52mm (2.04")
Length	480mm (18.9")
Weight	5.44 kg/m ² (12 lb/10.76 ft ²)
Flow Rate	189 L/minuta/m (49.9 gal/min/3.14ft)
Pieces per m ² (10.76ft ²)	8,01
Ultimate Resistance	130.6 (psi) (185.6 psi)

Ilustración 3 Especificaciones técnicas Celda de Drenaje de 52 mm
Fuente: Aquatectura. (2014). Catálogo Aquatectura 2014

○ Almacenamiento

El almacenamiento consta de un sistema de tanques modulares que permiten extensión ilimitada, diseñados para recibir el agua lluvia de forma limpia y liberarla de forma controlada de acuerdo con los niveles de permeabilidad del suelo. Estos tanques pueden verse como estructuras de captación directa de la lluvia, así como también, del agua que proviene de los techos, jardines y otras superficies. Los tanques sirven como reservorio y aseguran la calidad del agua que llega a los cauces, debido a que el sistema de almacenamiento es subterráneo y elimina los empozamientos que albergan mosquitos y parásitos(Aquatectura, 2014).

Los tanques ofrecidos por la empresa Aquatectura, constituidos por módulos como se observa en la Ilustración 4, ofrecen no solo la posibilidad de captar, filtrar, almacenar e infiltrar, sino que también brindan una resistencia hasta de 26 T/m², y un área de 95% de capacidad libre para el almacenamiento lo que reduce las excavaciones (Aquatectura, 2014).

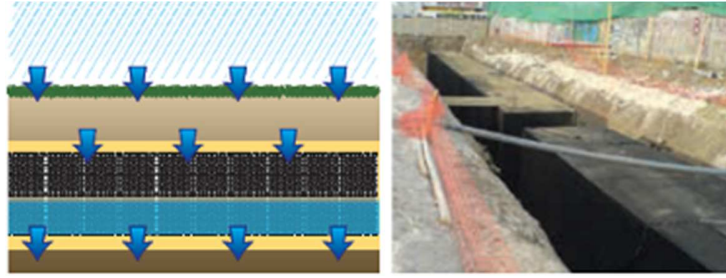


Ilustración 4 Tanques de almacenamiento

Fuente: Aquatectura. (2014). Catálogo Aquatectura 2014



Ilustración 5 Módulo Flow-Tank

Fuente: Aquatectura. (2014). Catálogo Aquatectura 2014

○ **Distribución**

Una vez se capta y filtra el agua lluvia puede procederse a la distribución mediante tuberías que abastecen una comunidad, en la Ilustración 6 se puede apreciar un drenaje sostenible aplicado para recolectar el agua lluvia en las vías, donde atraviesa un filtro y mejora su calidad ya sea para fines de distribución o de descarga.

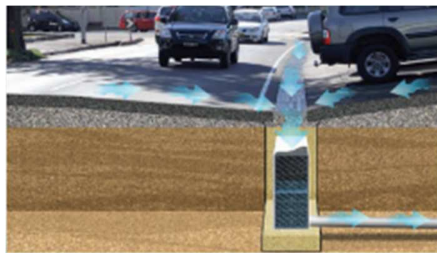


Ilustración 6 Diseño de drenajes viales

Fuente: Aquatectura. (2014). Catálogo Aquatectura 2014

En conclusión, los sistemas de drenaje sostenible permiten reunir en una sola estructura las funciones principales de los sistemas convencionales de cunetas, cámaras de inspección, sumideros, tuberías, filtros, tanques y estaciones de bombeo, ya que cumplen múltiples propósitos de captación, filtración, almacenamiento y transporte (Aquatectura, 2014).

1.3.5 El agua en la industria

Usos industriales del agua

Las industrias con su alta demanda de agua para diferentes procesos, deben buscar la forma de reutilizar este recurso. A continuación se enumeran los usos comunes del agua para la mayoría de las industrias.

o Transferencia de calor

En las industrias es muy común que se utilice el agua para procesos de calentamiento o enfriamiento, debido a la capacidad calorífica que tiene. El calentamiento se hace mediante generación de vapor utilizando una caldera, que es un aparato a presión donde el calor proveniente de una fuente de energía se transforma en calorías para ser utilizadas. El proceso por el que pasa el agua dentro de la caldera es así: la caldera recibe el agua compuesta por el agua de aportación que es el agua previamente tratada y el agua de retorno que es la que regresa a partir de los condensados del vapor. Posteriormente el agua de alimentación se convierte en vapor en el interior y el agua que permanece líquida se carga de los elementos que contenía el agua vaporizada. (Consejería de Economía y Hacienda, 2012). El vapor es el fluido térmico más utilizado en las industrias debido a características como: su bajo costo, el amplio rango de temperaturas de empleo, no tiene toxicidad ni inflamabilidad, fácil transporte mediante tuberías, entre otras. (Junta de Castilla y León, 2010). La utilización del vapor de agua afecta positivamente la eficiencia de la planta si se controla su consumo y hay eficacia en el sistema para generarlo, esto se va a ver evidenciado en los costos, competitividad y sustentabilidad de la empresa (Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía, 2002).

El enfriamiento evaporativo ocurre cuando el aire y el agua entran en contacto, el agua se evapora al contacto con el aire reduciendo su temperatura. (Flowres, Hernández, Rey, Velasco, & Tejero, 2011). En el caso del proceso de enfriamiento industrial donde se utiliza el agua como refrigerante, no solo son eficientes energéticamente sino que generan un impacto en el medioambiente y un ahorro económico. El contacto del agua caliente con el aire frío hace que haya una transferencia de calor y masa provocando el enfriamiento del agua que se va a utilizar para los procesos. Este tipo de enfriamiento se utiliza en industrias como: petroquímicas, farmacéuticas, alimentaria, automovilística, producción de acero, entre otras. (Lamúa, 2013).

○ **Generación de energía**

La generación de energía utilizando el agua se puede hacer mediante turbinas hidráulicas, las cuales son máquinas que convierten energía hidráulica en energía mecánica, allí el agua intercambia energía con un dispositivo que gira alrededor de su eje de simetría. (Díez, n.d.). Otra forma de generar energía es la producción de vapor, pero su desventaja es que existen muchas pérdidas demandando así una gran cantidad de agua de reemplazo, y se genera un alto costo en la tubería necesaria para recircular el condensado (American Society for Testing and Materials, 1976).

1.3.6 Calidad del agua en las industrias

Para analizar la calidad del agua en la industria se usan instrumentos analíticos clasificados en dos categorías: los que se basan en mediciones físicas y los que emplean métodos químicos. Para cada uno de estos hay sistemas de lectura, indicadores, alarmas, señales de control de procesos, entre otros (ASTM, 1976). Los parámetros indicadores de la calidad del agua más comúnmente analizados son los siguientes (Rocha Castro, 2010):

○ **Características Físicas**

- **Sólidos totales:** Es la suma de los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos. Para las aguas destinadas a procesos industriales como la alimentación de calderas, los sistemas de enfriamiento o para el agua integrada al mismo producto es conveniente conocer la cantidad de sólidos presentes en el agua, ya que la cantidad de sólidos puede afectar tanto al producto como a los equipos de producción.
- **Sólidos disueltos:** Son las sales presentes en el agua, que no pueden verse a simple vista y que no pueden ser separadas del líquido por medios como la sedimentación o la filtración, puede cuantificarse la cantidad de sólidos disueltos mediante evaporación o midiendo la conductividad del agua.
- **Sólidos suspendidos:** Son partículas sumamente finas que se encuentran en suspensión y que causan en el agua la propiedad de turbidez, cuanto mayor es la cantidad de sólidos suspendidos, mayor es la turbidez, estos pueden separarse del líquido por procesos como la filtración y la sedimentación.
- **Turbidez:** Es la capacidad para dispersar la luz, está relacionada con la cantidad de sólidos suspendidos, para el consumo humano esta característica es desagradable y rechazada por el consumidor, además que esta interfiere con el proceso de desinfección, disminuyendo la efectividad de los químicos.

- Color: El color describe el origen y las propiedades del agua, por ejemplo la coloración del agua indica la posible presencia de óxidos metálicos, o también puede deberse a la presencia de algas y microorganismos en el agua.
 - Temperatura: Generalmente es medida por termómetros de diferentes tipos o también se puede determinar eléctricamente midiendo el voltaje generado cuando se unen dos alambres de diferentes metales (ASTM, 1976).
 - Conductividad: Es la habilidad que tiene el agua para transmitir electricidad o calor. Se hace pasar el agua por un tubo eléctricamente aislado con bobinas de inductancia a cada lado y se mide la conductancia induciendo una corriente en la solución (ASTM, 1976).
 - Densidad: Es la relación entre la masa y el volumen de una sustancia. Para medirla se utiliza hidrómetros borboteadores en camas de derrame, sistemas borboteadores de aire, unidades de presión diferencial para purga de líquidos, entre otros (ASTM, 1976).
 - Índice de refracción: Es el grado en el que los fluidos de diferentes densidades ópticas pueden desviar o refractar la luz. Con esta medición es fácil detectar líquidos y sólidos disueltos en el agua (ASTM, 1976).
 - Tensión superficial: Se mide determinando la fuerza necesaria para elevar un anillo especial de platino e iridio de la superficie del líquido (ASTM, 1976).
 - Radiactividad: Los instrumentos para analizar esta característica detectan fugas o contaminación por precipitaciones radiactivas en la superficie y rastrean flujos.
- **Características químicas y fisicoquímicas**
- Cianuros: Los cianuros son elementos tóxicos que pueden estar presentes debido a derrames accidentales o por infiltración de desechos, se debe monitorear periódicamente el agua de suministro para que este contaminante nunca exceda los 0.2 mg/L.
 - Conductividad: Indica la cantidad de sales disueltas en el agua, una baja conductividad indica un agua de buena calidad.
 - Nitratos: Es un parámetro indeseable en el agua para consumo humano, ya que es responsable de una enfermedad conocida como metahemoglobinemia, que afecta el transporte de la sangre en el organismo, y tiene consecuencias fatales para el consumidor, la presencia de estos elementos ocurre frecuentemente debido a escurrimientos agrícolas, ya que utilizan cantidades exageradas de fertilizantes

nitrogenados, para una calidad de agua potable se permiten 10 mg/L como máximo.

- Fósforo: La presencia de fósforo en el agua indica la contaminación del acuífero por aguas contaminadas o residuales, la presencia de estos elementos puede ser debido al uso de agroquímicos fosforados.
- Pesticidas, agroquímicos y orgánicos sintéticos: La presencia de estos componentes en el agua es causada por el uso indiscriminado de herbicidas y pesticidas en las actividades agrícolas, por la disposición inadecuada de solventes y compuestos orgánicos generados por las actividades industriales o por derrames accidentales.
- Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO): Es uno de los parámetros más importantes al medir la contaminación del agua residual, la DBO se define como la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias al consumir materia orgánica biodegradable, este es un indicador de la pureza del agua; para valores menores a 20 mg/L se entiende como una agua pura.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Determina la cantidad de materia orgánica que puede ser oxidada por medio de agentes oxidantes en un medio ácido, este parámetro está relacionado con el grado de contaminación.
- PH: Indica la acidez o alcalinidad del agua, indica la concentración de iones de hidrógeno. El rango de pH en el cual pueden sobrevivir las especies está restringido, por lo cual cualquier alteración es catastrófica. Este se clasifica de 1 a 14 siendo un pH menor a 7 es ácido, igual a 7 neutro y mayor a 7 básico.

1.3.7 Marco legal del agua en Colombia

En Colombia existen leyes que rigen el manejo del agua lluvia por parte de cualquier persona que esté interesada en captarla y/o usarla, a continuación se enuncian las leyes referentes a la captación, uso y consumo.

El Ministerio de Agricultura de la República de Colombia expide el Decreto No. 1541 del 26 de julio de 1978, por el cual se reglamenta la Parte III del libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas”. Allí en el título VII hablan del régimen de ciertas categorías especiales del agua (Decreto 1541, 1978).

Aguas lluvias:

Artículo 143: Sin perjuicio del dominio público de las aguas lluvias, y sin que pierdan tal carácter, el dueño, poseedor o tenedor de un predio puede servirse sin necesidad de concesión de las aguas lluvias que caigan o se recojan en este, mientras por este discurren.

Artículo 144: Se requerirá concesión para el uso de las aguas lluvias cuando estas aguas forman un cauce natural que atraviese varios predios, y cuando aún sin encausarse salen del inmueble.

Artículo 145: La construcción de aguas para almacenar, conservar y conducir aguas lluvias se podrá adelantar siempre y cuando no se causen perjuicios a terceros.
(Decreto 1541, 1978)

El congreso de Colombia expide la ley 9 de 1979 “Por la cual se dictan medidas sanitarias”, allí en el título II hablan del suministro de agua lluvia.

Artículo 63. Cuando se utilice agua lluvia para consumo humano, ésta deberá cumplir los requisitos de potabilidad que señale el ministerio de Salud o la autoridad competente
(Ley 9, 1979).

El congreso de Colombia expide la ley 373 de 1997 por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua. Allí en varios artículos especifican la forma en la que se debe usar el agua lluvia captada.

Artículo 2o.- Contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua. El programa de uso eficiente y ahorro de agua, será quinquenal y deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, las que manejen proyectos de riego y drenaje, las hidroeléctricas y demás usuarios del recurso, que se consideren convenientes para el cumplimiento del programa (Ley 373, 1997).

Artículo 5o.- Reúso obligatorio del agua. Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental. El Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Económico reglamentarán en un plazo máximo de (6) seis meses, contados a partir de la vigencia de la presente ley, los casos y los tipos de proyectos en los que se deberá reutilizar el agua (Ley 373, 1997).

Artículo 9o.- De los nuevos proyectos. Las entidades públicas encargadas de otorgar licencias o permisos para adelantar cualquier clase de proyecto que consuma agua, deberán exigir que se incluya en el estudio de fuentes de abastecimiento, la oferta de aguas lluvias y que se implante su uso si es técnica y económicamente viable (Ley 373, 1997).

La Encuesta Ambiental Industrial (EAI) es una encuesta realizada anualmente por el DANE, en ella se reflejan los gastos y costos por parte de la industria manufacturera de

Colombia, en cuanto a la protección del medio ambiente del país, ésta incluye el manejo del agua en esta industria. En la EAI también se puede encontrar los incentivos tributarios reflejados en la Tabla 1 (DANE, 2010), que se le pueden otorgar a las empresas dependiendo de la actividad que realicen en beneficio del medio ambiente, dentro de los factores que conforman la producción limpia se encuentra el manejo del recurso hídrico por parte de la industria manufacturera.

Tabla 1 Beneficios económicos obtenidos por incentivos tributarios y fiscales de carácter ambiental, según tipo de incentivo
Miles de pesos corrientes

Incentivos tributarios	Valor de las deducciones
Total establecimientos panel	\$14.271.901
<i>A. Incentivos aplicables a la producción limpia y a la disminución de residuos de todo tipo</i>	\$10.922.252
<i>B. Incentivos aplicables a la reforestación y conservación</i>	\$1.419.320
<i>C. Incentivos para la investigación y el establecimiento de entidades en pro del ambiente</i>	\$1.930.329

Fuente: DANE - Encuesta Ambiental Industrial 2010

1.3.8 CERTIFICACIÓN LEED

○ QUÉ ES LA CERTIFICACIÓN LEED

La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), es un método voluntario de evaluación de edificios verdes, el cual somete a un edificio a los estándares ambientales más exigentes a nivel mundial, y de acuerdo a parámetros cuantificables, mide el uso eficiente de los recursos, tales como el agua y la energía, además de otros aspectos como la calidad del ambiente de los espacios habitables y el manejo de los desechos de construcción, para determinar el comportamiento medio ambiental del edificio a lo largo de su ciclo de vida.(Catálogo Verde, n.d.)

○ Pasos para certificar un proyecto LEED:

La certificación se realiza completamente online, a través de la página web del USGBC, <http://www.leedonline.com>. (Catalogo Verde, n.d.)

La certificación LEED se divide en seis categorías medioambientales (Catalogo Verde, n.d.):

1. Sitios Sustentables (24 puntos)

La caracterización de sitio sustentable se otorga a los proyectos en que revitalizan terrenos abandonados o subutilizados, que dan alta conectividad o que acercan al sistema de transporte público, que protegen o restauran los hábitat naturales, o que realizan un adecuado manejo y control de las aguas lluvias.

2. Eficiencia en el uso del agua (11 puntos)

Incentiva a instalar dispositivos sanitarios de bajo consumo y a disminuir el agua de riego con la adecuada selección de especies.

3. Energía y atmósfera (33 puntos)

Se debe demostrar un porcentaje de ahorro energético mínimo entre el 12% y el 48%, además de un comportamiento adecuado de los sistemas del edificio a largo plazo.

4. Materiales y recursos (13 puntos)

La selección de materiales hace de un edificio sustentable, por lo cual en esta categoría se premiar el uso de materiales regionales, reciclados, rápidamente renovables y/o certificados.

5. Calidad del ambiente interior (19 puntos)

Para proporcionar un adecuado ambiente interior debe existir una adecuada ventilación, confort térmico y acústico, control de contaminantes en el ambiente y adecuada iluminación.

6. Innovación en el diseño (6 puntos)

Se premia la creatividad y permite evaluar parámetros que estén fuera del estándar de la certificación.

○ **Niveles de certificación LEED**

Para recibir puntos por cualquiera de las categorías se deben cumplir una serie de prerequisites obligatorios, si no cumple con alguno de ellos, el proyecto no podrá ser certificado, si cumple con ellos se evaluarán los anteriores parámetros y se dará una cantidad de puntos por cada categoría, la cantidad total de puntos otorgados define el nivel de certificación alcanzado (Catalogo Verde, n.d.). Los niveles de certificación se muestran en la Ilustración 7



○ **Tipos de certificación LEED**

1. LEED NC: LEED para nuevas construcciones

2. LEED EB: LEED para edificios existentes
3. LEED for homes: LEED para viviendas
4. LEED ND: LEED para desarrollo de barrios
5. LEED SC: LEED para colegios

(Catalogo Verde, n.d.)

○ **Beneficios de la certificación LEED**

- Una edificación diseñada bajo los parámetros de diseño LEED puede llegar a tener ahorros de energía entre un 30% y un 50%, lo que reduce los costos operacionales significativamente.(Catalogo Verde, n.d.)
- Una edificación verde aumenta la productividad de los que trabajan en el lugar, ya que cuenta con los aspectos primordiales para mejorar la calidad de vida y la salud de los usuarios, como adecuada iluminación y niveles acústicos.(Catalogo Verde, n.d.)
- Una edificación con certificación LEED disminuye el impacto negativo que tiene la construcción sobre el medio ambiente, como el daño en la capa de ozono y el cambio climático, además de reducir la cantidad de desechos lo que protege los entornos naturales, los ecosistemas y la biodiversidad.(Catalogo Verde, n.d.)
- El tener una certificación LEED puede ser aprovechado como una herramienta de marketing, ya que es un índice de calidad superior a nivel mundial, lo que otorga valor agregado y demuestra compromiso y responsabilidad con el medio ambiente y la sociedad.(Catalogo Verde, n.d.)

1.4 APOORTE DEL DRENAJE SOSTENIBLE PARA LA CERTIFICACIÓN LEED

El sistema de drenaje sostenible incorporado a un proyecto LEED puede aportar hasta 13 puntos, según las condiciones del proyecto y su utilidad.

1.4.1 Puntos por recolección de agua lluvia

○ **Reducción del uso del agua (30% al 40%): 2 puntos**

Maximizar la eficiencia del uso del agua para reducir la carga en el suministro de agua del municipio (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Reducción del uso del agua (20%): 1 punto**

Disminución del 20% del uso de agua en la construcción utilizando fuentes alternativas como agua lluvia o aguas grises (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Agua pluviales diseño: control de cantidad : 1 a 2 puntos**

Reducir la cubierta impermeable, aumentar la infiltración, reducir la contaminación de las aguas pluviales. Reducción del 80% del promedio anual de sólidos en suspensión totales mediante el reciclaje del agua lluvia, cubiertas vegetales, cunetas o pavimentos permeables (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Jardinería eficiente en agua: reducir en un 50% : 2 puntos**

Limitar el uso de agua potable para el riego de áreas verdes utilizando el agua lluvia disponible, agua recicladas o subterráneas (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Paisajismo eficiente del agua: 2 puntos**

Utilizar únicamente agua lluvia capturada o aguas reciclada para el riego de las áreas verdes del sitio (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Tecnologías innovadoras en aguas residuales: 2 puntos**

Reducir la generación de aguas residuales y la demanda de agua potable utilizando agua lluvia o aguas grises recicladas (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Innovación en diseño : 1 punto**

Proyectos que obtienen un rendimiento excepcional por encima de los requerimientos establecidos por la certificación LEED (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

○ **Materiales y recursos: 1 punto**

Incorporar en el diseño materiales reciclados, reduciendo así los impactos de la extracción y procesamiento de nuevos materiales vírgenes. El sistema de drenaje sostenible está compuesto de polipropileno 100% reciclado (Aquatectura & Atlantis, 2015b).

1.4.2 Puntos aplicables para el proyecto específico

Para el diseño planteado en cada una de las empresas, se podrían obtener hasta 6 puntos por captación de agua lluvia, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Puntos LEED para el proyecto

Aspecto a evaluar	Puntos LEED
Reducción del uso del agua (30% a 40%)	2
Aguas pluviales de diseño	2
Tecnologías innovadoras en aguas	2

Aspecto a evaluar	Puntos LEED
residuales	
Innovación en diseño	1
Materiales y recursos	1
TOTAL	8

1.5 HIPÓTESIS

La aplicación de un drenaje sostenible en empresas ubicadas en el Valle de Aburrá, generará beneficios económicos y ambientales para estas, como el ahorro en el costo del suministro de agua, ya que este al estar construido con materiales filtrantes como polímeros y textiles logra que el agua captada resulte libre de partículas, y cuente con la calidad suficiente para ser utilizada en reemplazo del agua potable en algunos procesos de producción.

Este sistema es económico y técnicamente viable, ya que el costo inicial para la instalación de este, significa una inversión menor al costo del suministro de agua actual destinada a estos procesos que no requieren agua potable.

2. METODOLOGÍA

Calidad del agua requerida por industrias

- Se recolectó información sobre las industrias que demanden mayor cantidad de agua y que esta no necesite ser potable; se determinaron las industrias con potencial para la aplicación del proyecto.
- Se realizaron visitas a empresas de las industrias anteriormente definidas para obtener los siguientes datos:
 - Calidad y cantidad del agua requerida.
 - Fuentes actuales de abastecimiento de agua y su costo de obtención.
- De acuerdo a los parámetros de calidad del agua filtrada por los SUDS, cantidad de agua requerida e interés por parte de la empresa para captar agua lluvia, se decidió cuáles serán las dos empresas de diferentes industrias a las que se implementará el sistema.

Métodos para el aprovechamiento del agua lluvia

- Se investigó en las empresas visitadas sobre los métodos de recolección y aprovechamiento de agua lluvia.

Diseño del sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia para cada una de las industrias seleccionadas

- Se identificaron los procesos que utilizarán el agua proveniente del sistema.
- Se analizó la infraestructura de la empresa para elegir el área de captación.
- Se obtuvo la información pluviométrica de la zona.
- Se realizó el diseño de recolección de agua, el cual incluye el diseño de la captación y el tanque, estableciendo dimensiones y materiales.
- Se realizó el diseño para la distribución de agua en cada proceso..
- Se utilizaron software como Revit y AutoCAD para la modelación y diseño del SUDS.

Viabilidad técnico económica del sistema de drenaje sostenible

- Se determinaron los costos asociados a la construcción, operación y mantenimiento del sistema propuesto.
- Se compararon el costo del SUDS frente al costo del sistema actual de obtención de agua.

3. CONSUMO DE AGUA EN LAS INDUSTRIAS COLOMBIANAS

3.1 PRINCIPALES FUENTES DE OBTENCIÓN DE AGUA DE LAS INDUSTRIAS COLOMBIANAS

Según datos de la encuesta ambiental industrial realizada por el DANE en el año 2012, (DANE, 2012) , las industrias manufactureras colombianas utilizaron para sus procesos productivos en ese mismo año un volumen de agua de 494.3 millones de metros cúbicos. Según los datos suministrados por los establecimientos industriales las principales fuentes de obtención de agua se muestran en la Tabla 3

Tabla 3 Principales fuentes de obtención de agua

Fuente	MMm ³ de agua obtenidos	% del total
Aguas superficiales	390.8	79.1%
Agua suministrada por empresa de acueducto	57.5	11.6%
Agua subterránea	42.8	8.7%
Otras captaciones (Agua lluvia)	3.2	0.6%
Totales	494.3	100%

Fuente: DANE (2012), Boletín de Prensa: Encuesta Ambiental Industrial. (pp. 15)

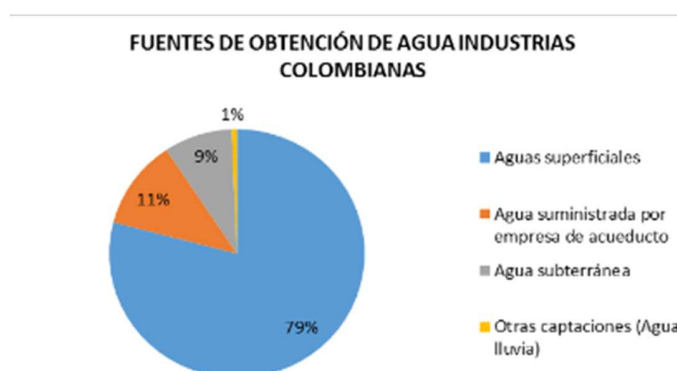


Ilustración 8 Fuentes de obtención de agua Industrias Colombianas

Fuente: DANE (2012), Boletín de Prensa: Encuesta Ambiental Industrial. (pp. 15)

Según la Ilustración 8 en Colombia, debido a la riqueza de recursos hídricos, la mayor fuente de obtención de agua son las aguas superficiales. Este proyecto se pretende ofrecer a las empresas que por su ubicación geográfica obtienen el agua de redes de acueducto, las cuales cobran un alto valor por este suministro.

El gráfico también muestra que son pocas las empresas que captan el agua lluvia para su uso, lo que manifiesta que es un mercado poco explorado, y una práctica poco utilizada en el país; lo que podría significar una oportunidad y una ventaja al ofrecer el drenaje propuesto.

3.2 SECTORES INDUSTRIALES CON MAYOR CONSUMO DE AGUA

La Tabla 4 fue tomada del Estudio Nacional del Agua 2010, el cual anualmente reporta información relacionada con el estado y la dinámica del recurso hídrico en Colombia. A continuación se muestra la participación que tiene la industria en el uso del agua, el cual es el 4,4% con 1,577 millones de metros cúbicos.

Tabla 4 Demanda hídrica nacional

Usos del agua	Total (m³)	Participación (%)
Servicios	528,000,000	2%
Industria	1,577,000,000	4%
Pecuario	2,220,000,000	6%
Acuícola	2,584,000,000	7%
Doméstico	2,606,000,000	7%
Energía	6,976,000,000	19%
Agrícola	19,386,000,000	54%
Total	35,877,000,000	100%

Fuente: Estudio Nacional del Agua 2010

Según el Estudio Nacional del Agua en Colombia realizado en el año 2010 (IDEAM, 2010), la estimación para la demanda hídrica del sector industrial manufacturero para el año 2019 ordenada de mayor a menor se recopila en la Tabla 5.

Tabla 5 Demanda hídrica nacional proyectada al 2019

Actividad Industrial		Demanda Hídrica proyectada al 2019 (m ³)
1	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón	599429945
2	Preparación e hilatura de fibras textiles	429303092
3	Fabricación de productos metalúrgicos básicos; fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	315072142
4	Elaboración de bebidas	309214443
5	Fabricación de sustancias y productos químicos; fabricación de productos de caucho y de plástico	251167045
6	Producción, transformación y conservación de carne y pescado	224981184
7	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	195233537
8	Elaboración de productos lácteos	109194623
9	Ingenios, refinerías de azúcar y trapiches	56193269
10	Elaboración de otros productos alimenticios n. c. p	56124707
11	Elaboración de productos derivados del almidón	18854026
12	Construcción	17392000
13	Elaboración de aceites y grasas animales y vegetales	17104559
14	Industria de la construcción de maquinaria y equipo mecánico	11982000
15	Materiales de construcción	5708000
16	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	731926
17	Fabricación de productos de tabaco	372247
18	Otras industrias manufactureras n. c. p.	339322
19	Elaboración de cacao chocolate y productos de confitería	297202
TOTAL		2618695269

Fuente: IDEAM (2010)

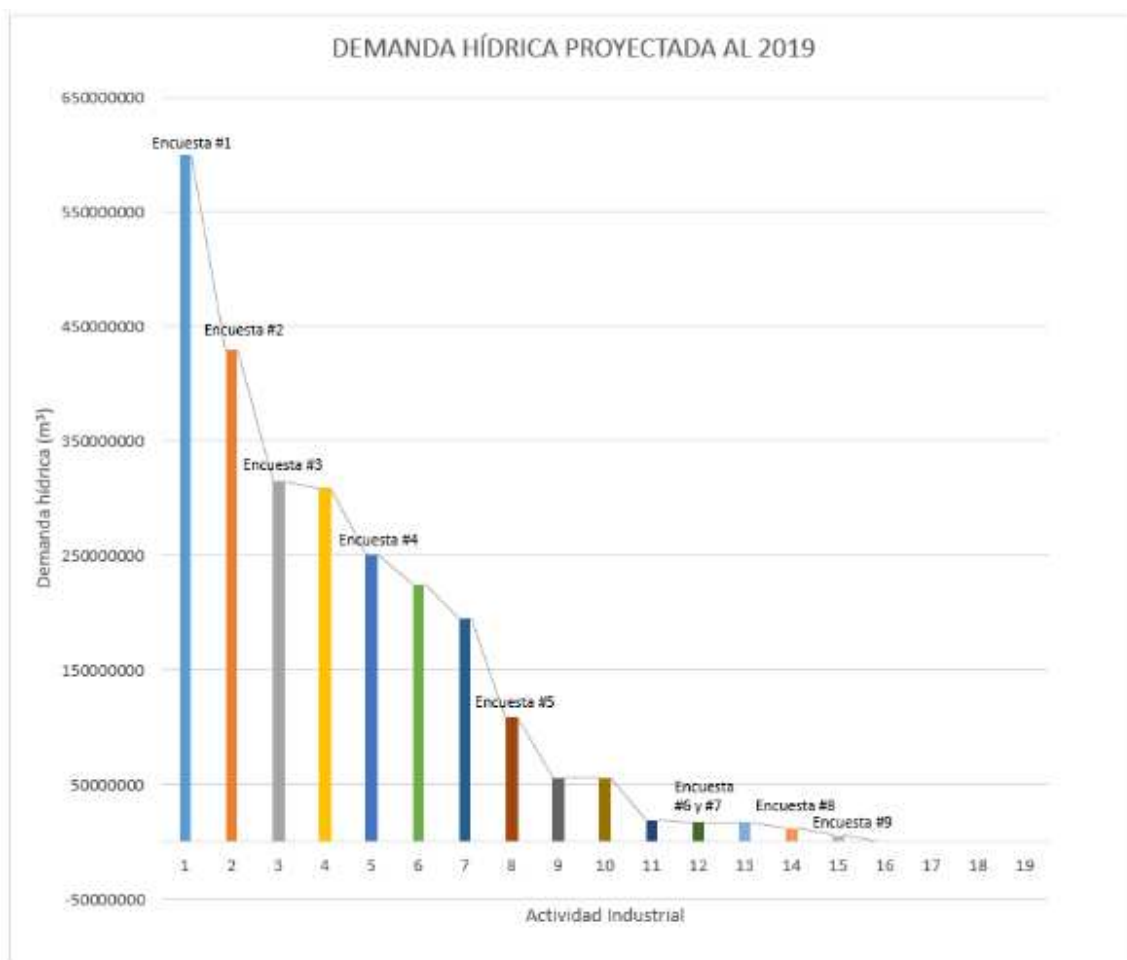


Ilustración 9 Demanda Hídrica proyectada al 2019
Fuente: IDEAM (2010)

La propuesta de uso de agua lluvia en reemplazo de aguas de alto costo de obtención, permitirá a las industrias que implementen esta técnica aumentar su competitividad, al lograr disminuir el alto consumo de agua potable reduciendo notoriamente los costos.

La Ilustración 9 indica que en Colombia las actividades con mayores requerimientos de agua son la fabricación de papel y cartón (1), y la elaboración de productos textiles (2), con consumos mayores a 400.000 Mm³, estas dos industrias son de interés potencial para este proyecto, ya que el agua requerida para los procesos de producción no debe ser potable, así que el agua lluvia puede representar una potencial fuente hídrica para estas.

Para los procesos de producción de productos metalúrgicos (3), el agua lluvia puede ser útil para actividades como el enfriamiento necesario para el temple de metales, por lo cual también es una industria con potencial.

La siguiente actividad con mayor consumo es la elaboración de bebidas (4). Esta industria exige que el agua usada para su producción sea potable, ya que la requiere como materia prima directa en el proceso y es insumo para consumo humano, que de remplazarse por agua lluvia significaría disminuir la calidad del producto final, por lo cual no es una industria aplicable al proyecto.

En la fabricación de productos de caucho y de plástico (5) el agua es materia prima esencial para el proceso, el agua es empleada en los procesos de moldeado y formación, en actividades de refrigeración o calefacción, en la limpieza tanto de las superficies de los productos, como para el lavado de los equipos, para la lubricación de los productos, extraer el material residual de los equipos y por último en el caso del caucho para el proceso de vulcanización el cual es un proceso químico donde a través de la adición de azufre u otros equivalentes se convierte el caucho en un material más duradero y con mejores propiedades mecánicas (Coorporación financiera internacional, 2007). Esta industria puede sin problema utilizar agua lluvia para su proceso.

Las actividades relacionadas con la producción de alimentos, tales como la producción, transformación y conservación de carne y pescado (6), elaboración de productos lácteos (8), refinerías de azúcar (9), elaboración de productos derivados del almidón (11), elaboración de aceites y grasas animales y vegetales (13), elaboración de productos de cacao chocolate y productos de confitería (19), y la elaboración de otros productos alimenticios (10), requieren cierta calidad para el uso del recurso hídrico en los procesos de elaboración del producto final, sin embargo, el agua lluvia puede utilizarse para procesos donde el agua no este directamente en contacto con el alimento, como por ejemplo en la refrigeración y conservación de estos, además es común que este tipo de industrias posean plantas de tratamiento del agua donde debido al alto requerimiento de pureza en el agua son tratadas todas las aguas que intervienen en el proceso, por lo cual aunque el uso de agua lluvia sería más exigente sigue siendo una posible opción.

La categoría de productos minerales no metálicos (7) está dividida en subsectores tales como la producción de vidrio, productos cerámicos, fabricación de cemento, cal y yeso (Gobierno de España, 2015), en estas actividades el agua lluvia puede ser utilizada en algunas actividades involucradas para la producción del producto final.

Tanto la industria de la construcción (12) como la industria de los materiales de construcción (15) es apta para el uso del agua lluvia, ya que la calidad de esta no es un requerimiento exigente, el inconveniente con la industria de la construcción es que no es una actividad permanente, se presenta por periodos de tiempo relativamente cortos, lo que significaría el diseño de una captación móvil de agua lluvia, además la disponibilidad

de recursos de cada una de las obras es diferente y las condiciones hidroclimatológicas varían dependiendo del lugar geográfico donde esté ubicado.

La industria de la construcción de maquinaria y equipo mecánico (14) , que comprende a la industria automotriz la cual es una de las actividades con mayor aporte a la economía del país (PROCOLOMBIA, 2014), y para las cuales el agua lluvia podría representar una fuente de suministro de agua en sus procesos, en razón a que no requiere pureza absoluta del agua y si representa consumos importantes.

Para las industrias de coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear (16), fabricación de productos de tabaco (17) y otras industrias manufactureras(18), es mucho menor el consumo de agua a comparación con el resto de actividades industriales evaluadas, a pesar de que podrían utilizar el agua lluvia como recurso, no se tendrán en cuenta para los siguientes análisis, además por ejemplo para el caso de las actividades petroleras estas no se realizan dentro del Valle de Aburrá que es la delimitación para la ejecución del estudio.

De la Ilustración 9 también se puede inferir que los resultados para la demanda hídrica en el 2019 dependen no solo de los requerimientos para la elaboración de cada tipo de producto, sino también del tamaño de las empresas y su capacidad productiva, y del número de empresas de cada sector en el país.

3.3 DATOS OBTENIDOS EN LAS VISITAS

Para la investigación de la demanda hídrica en empresas de diferentes sectores, se hicieron visitas a nueve empresas en todo el Valle de Aburrá, de ocho sectores productivos, para los análisis comparativos se toman los datos de una empresa por sector y se observa la gestión del agua lluvia en las nueve empresas. Por motivos de confidencialidad no se nombrarán las empresas, sino que se les llamará por el tipo de actividad principal que realizan. De esta forma tenemos las siguientes empresas:

- Empresa productora de papel y cartón
- Empresa manufacturera de embragues
- Empresa ensambladora de automóviles
- Empresa productora de lácteos
- Empresa textil
- Empresa productora de bienes de caucho
- Empresa productora de materiales de construcción
- Empresa de construcción (2)

Para la clasificación de las industrias visitadas, se utilizó la estructura de clasificación de industrias, sectores y subsectores suministrada por la empresa S&P Dow Jones (S&P Dow Jones Indices LLC, 2012). La información recogida se plasmó en la Tabla 6, donde

se clasificaron las nueve empresas visitadas, en primer lugar por industria y por último se clasificaron por subsector.

Tabla 6 Clasificación de las empresas visitadas según Dow Jones

Industria	Supersector	Sector	Subsector	Empresa escogida
Industriales	Recursos básicos	Arboricultura y papel	Papel	Empresa productora de papel y cartón
Industriales	Bienes y servicios industriales	Ingeniería Industrial	Camiones y vehículos comerciales	Empresa manufacturera de embragues
Bienes de consumo	Automóviles y piezas	Automóviles y piezas	Piezas de automóviles	Empresa ensambladora de automóviles
Bienes de consumo	Alimentos y bebidas	Productores alimenticios	Productos alimenticios	Empresa productora de lácteos
Bienes de consumo	Artículos personales y de uso doméstico	Artículos personales	Ropa y accesorios	Empresa textil
Materiales básicos	Químicos	Químicos	Productos químicos de especialidad	Empresa productora de bienes de caucho
Industriales	Construcción y materiales	Construcción y materiales	Materiales de construcción y accesorios	Empresa productora de materiales de construcción
Industriales	Construcción y materiales	Construcción y materiales	Construcción pesada	Empresa de construcción

A continuación en la Tabla 7 se presentan los datos obtenidos en las visitas a las empresas seleccionadas, se realizaron visitas a nueve empresas de los sectores industriales con alta demanda hídrica, para hacer una comparación en el consumo de agua, y en la gestión del agua en las diferentes industrias, esto con el fin de elegir las empresas a las cuales se le aplicará el estudio.

Tabla 7 Datos Encuestas

INDUSTRIA		Consumo mensual promedio (m³/mes)	% correspondiente a procesos de producción	Procesos que no requieren agua 100% potable	% de agua procesos que no requieren agua potable	Fuentes de obtención de agua	% obtenido	Costo del suministro de agua (\$/mes)	¿Considera el agua lluvia potencial fuente hídrica para el negocio?	¿Existe en la empresa un método de recolección y aprovechamiento de agua lluvia?
1	EMPRESA PRODUCTORA DE PAPEL Y CARTÓN	1400	100%	Producción de papel kraft	50%	Agua superficial	100%	\$ 21.000	NO	NO
				Producción de papel corrugado	50%					
2	EMPRESA TEXTIL	3000	90%	Descruce: Preparación de la tela para el teñido	36%	Agua superficial	20%	\$ 800.000	SI	SI
				Teñido: Se adicionan los auxiliares y colorantes para el tono de color solicitado	36%					
				Lavado	18%	EPM	80%	\$ 12.000.000		
3	EMPRESA MANUFACTURERA DE ENGRANES	285	20%	Tanque de temple agrícola	4%	EPM	100%	\$ 414.639	SI	NO
				Planta de limpieza agrícola-embragues	2%					
				Torre de enfriamiento	14%					
4	EMPRESA PRODUCTORA DE BIENES DE CAUCHO	220	50%	Mezclado: Enfriamiento de las pastas	17%	EPM	100%	\$ 335.489,00	SI	NO

INDUSTRIA		Consumo mensual promedio (m³/mes)	% correspondiente a procesos de producción	Procesos que no requieren agua 100% potable	% de agua procesos que no requieren agua potable	Fuentes de obtención de agua	% obtenido	Costo del suministro de agua (\$/mes)	¿Considera el agua lluvia potencial fuente hídrica para el negocio?	¿Existe en la empresa un método de recolección y aprovechamiento de agua lluvia?
				Termoplástico: Proceso de enfriamiento de los productos extruidos	17%					
				Extrusión caucho: Proceso de enfriamiento de los productos extruidos	17%					
				Baños y comedores	50%					
5	EMPRESA PRODUCTORA DE LÁCTEOS	18000	100%	Limpieza de áreas exteriores	5%	EPM	100%	\$ 131.400	SI	NO
				Lavado de zona de acopio de residuos	5%					
6	EMPRESA DE CONSTRUCCIÓN	655	70%	Aseo de baños	5%	EPM	100%	\$ 1.500.000	SI	NO
				Aseo general obra	25%					
				Estructura, mampostería, revoques y morteros	40%					
7	EMPRESA ENSAMBLADORA DE AUTOMÓVILES	13200	95%	Abastecimiento del equipo de ósmosis	45%	EPM	99%	\$ 19.012.289	SI	SI
						Captación de agua lluvia	1%	\$ -		
8	EMPRESA PRODUCTORA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	250	100%	Trituración: Proceso de lavado de arena de concreto	100%	Agua superficial	100%	\$ -	SI	NO

Fuente: Encuestas

3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS EMPRESAS VISITADAS

3.4.1 Consumo mensual promedio

Según la información suministrada durante las visitas, en la Ilustración 10, se muestra que las industrias con mayor consumo son la productora de lácteos y la ensambladora de automóviles, seguidas de la empresa textil y la productora de papel y cartón.

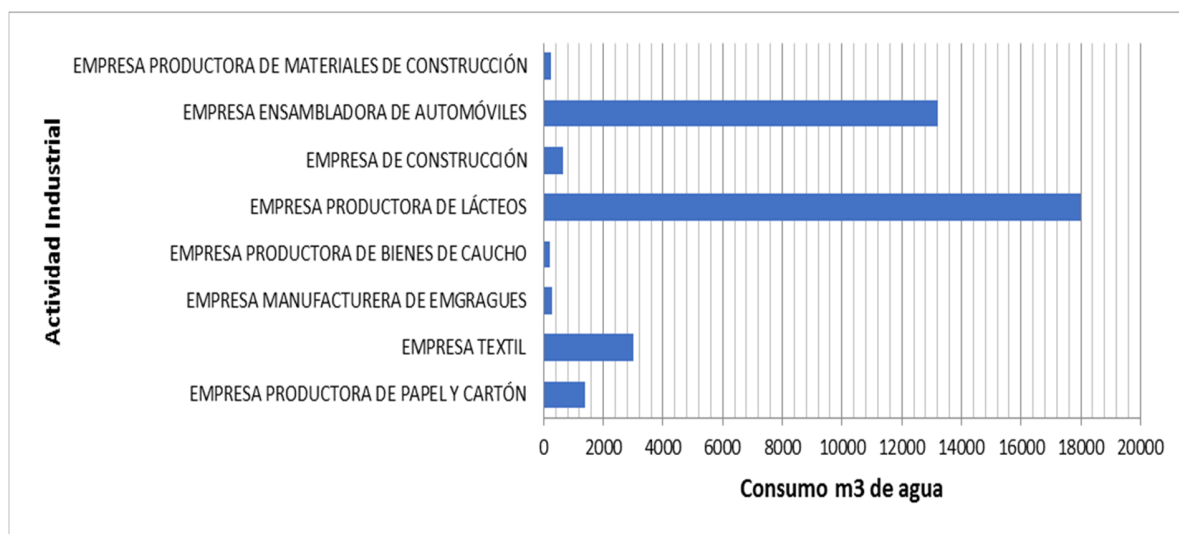


Ilustración 10 Consumo mensual promedio de agua empresas encuestadas
Fuente: Encuestas

En las entrevistas con los encargados del tema de gestión ambiental o gestión de aguas en algunas de las empresas se evidencia que aunque no haya un requerimiento necesario de agua potable para todos sus procesos, éstas deciden comprar todo su consumo mensual a EPM. A continuación en la Ilustración 11 se evidencia en realidad cual es el porcentaje de agua potable que las empresas consumen.

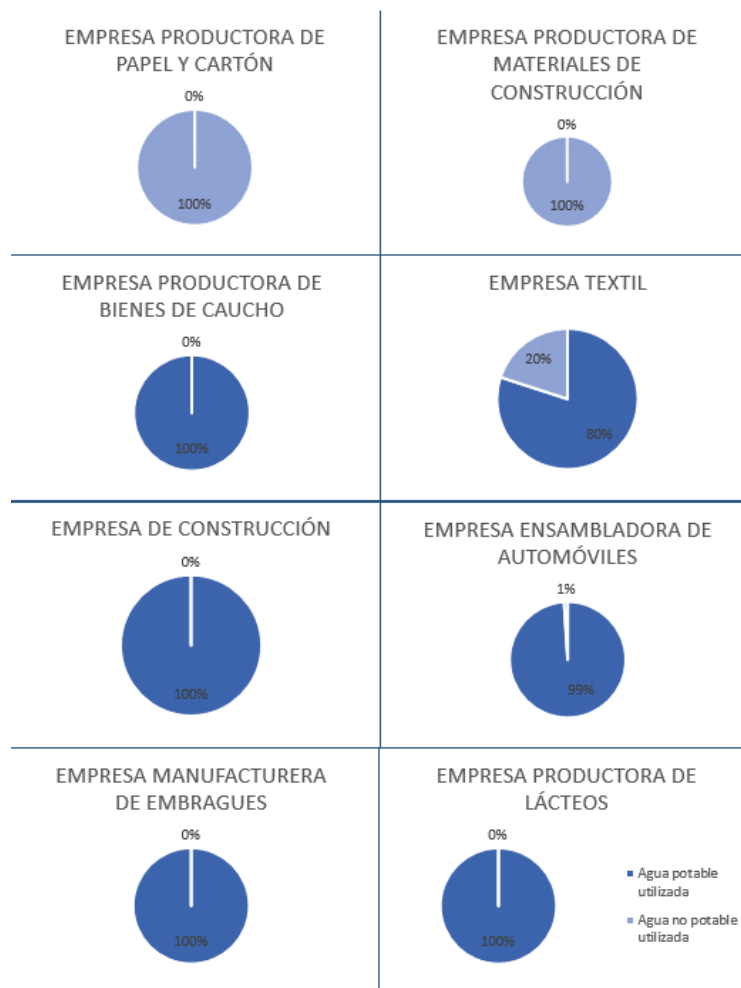


Ilustración 11 Consumo actual de agua potable
Fuente: Encuestas

3.4.2 Porcentaje de agua potable a reemplazar

Sin embargo, en este proyecto se busca lograr el mayor ahorro en el costo del suministro de agua dentro de una empresa, por lo cual es también importante evaluar el porcentaje de agua potable dentro de la empresa que puede ser reemplazado por agua lluvia, es decir, el porcentaje de agua que no requiere ser potable, este comparativo se plasma en la Ilustración 12, en color azul oscuro se representa el porcentaje de agua que debido a las características del proceso se exige sea totalmente potable, en color azul claro se muestra el porcentaje de agua que puede ser reemplazado por el agua lluvia, las empresas con mayor porcentaje en color azul claro constituyen el nicho de mercado para el drenaje sostenible.

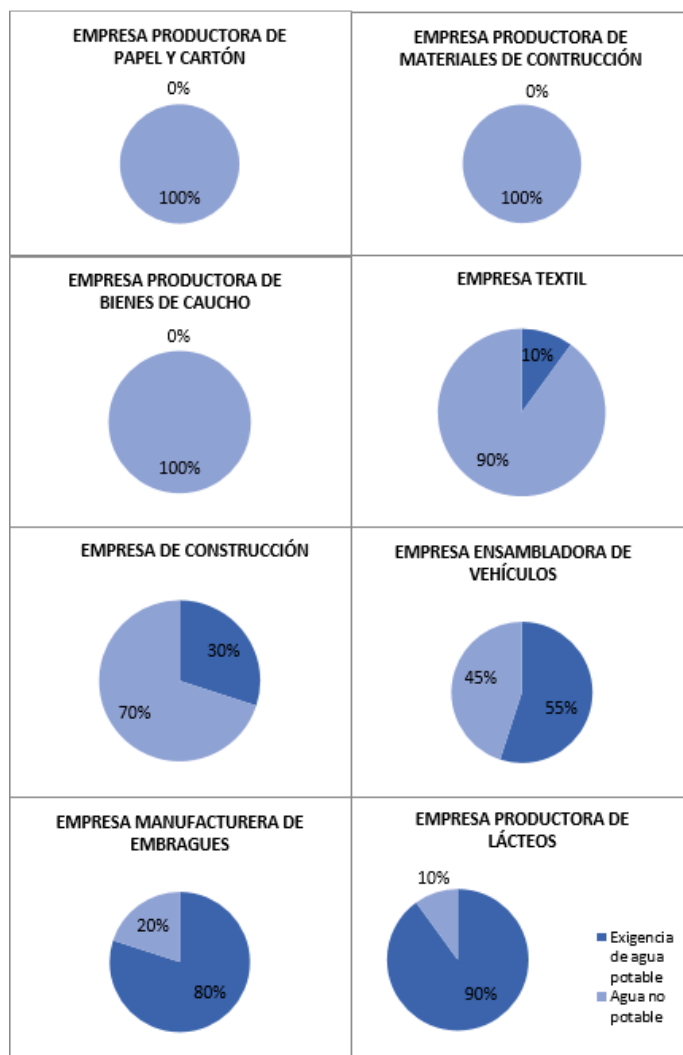


Ilustración 12 Requerimiento de agua potable y no potable empresas encuestadas
Fuente: Encuestas

Según la información de la Ilustración 12 la industria del papel, la de materiales de construcción y la de fabricación de productos de caucho poseen el mayor porcentaje de agua con potencial de reemplazo, seguidas por la industria textil y por la industria de la construcción.

3.4.3 Costo de suministro de agua

El siguiente factor a evaluar es el costo del suministro de agua, que varía según la ubicación geográfica de la empresa, que determina tanto la posibilidad de tomar el agua de fuentes superficiales como ríos o quebradas como el estrato socioeconómico; además algunas de las empresas requieren un costo adicional para el tratamiento de las aguas, y para la entrega de estas de nuevo al medio ambiente. En la Tabla 8, se calcula según el dato del costo mensual total del suministro de agua y el consumo mensual en metros cúbicos (Dirección Comercial Aguas y Saneamiento EPM, 2014), cuanto es el precio por metro cubico al cual la empresa adquiere el recurso hídrico.

Tabla 8 Costo mensual del suministro de agua

Actividad industrial	m³	Cargo fijo mensual EPM	\$/m³ EPM	\$/mes						\$/mes	\$/m3
				EPM		Agua superficial		Agua lluvia			
Empresa productora de papel y cartón	1,400	\$ 12,430	\$ 1,554	0%	\$ -	100%	\$ 21,000	0%	\$ -	\$ 21,000	\$ 15
Empresa textil	3,000	\$ 11,908	\$ 1,686	80%	\$ 4,057,540	20%	\$ 800,000	0%	\$ -	\$ 4,857,540	\$ 1,619
Empresa manufacturera de embragues	285	\$ 10,773	\$ 1,525	100%	\$ 445,389	0%	\$ -	0%	\$ -	\$ 445,389	\$,563
Empresa productora de bienes de caucho	220	\$ 11,602	\$ 1,642	100%	\$ 372,903	0%	\$ -	0%	\$ -	\$ 372,903	\$,695
Empresa de construcción	655	\$ 12,430	\$ 1,554	100%	\$ 1,030,503	0%	\$ -	0%	\$ -	\$ 1,030,503	\$,573
Empresa productora de lácteos	18,000	\$ 10,773	\$ 1,525	100%	\$ 27,460,233	0%	\$ -	0%	\$ -	\$ 27,460,233	\$ 1,526
Empresa ensambladora de automóviles	13,200	\$ 12,845	\$ 1,818	99%	\$ 23,773,605	0%	\$ -	1%	\$ -	\$ 3,773,605	\$ 1,801
Empresa productora de materiales de construcción	250	\$ 12,430	\$ 1,554	0%	\$ -	100%	\$ -	0%	\$ -	\$ -	\$ -

Fuente: Encuestas y (Dirección Comercial Aguas y Saneamiento EPM, 2014)

en la Ilustración 13 se permite comparar el costo de suministrar un metro cubico de agua a cada una de las empresas encuestadas, la industria de producción de papel obtiene el agua para sus procesos productivos de una fuente de bajo precio, esto a razón de que es abastecida por una quebrada que por su ubicación estratégica a la planta permite extraer el agua sin necesidad de bombeo; en contraste debido a la ubicación lejana a fuentes superficiales la industria de productos lácteos debe obtener la totalidad del agua necesaria de EPM a un alto costo, además por tratarse de un producto para consumo humano, debe tratar toda agua que ingrese al proceso. La industria textil debe el alto precio de suministro de agua a su ubicación, además los químicos involucrados para formar los tintes textiles dejan el agua usada muy contaminada por lo cual deben pagar un alto costo por el tratamiento de las aguas para realizar el descargue; sin embargo para este proyecto se pretende evaluar el ahorro en el costo del suministro al usar el drenaje sostenible sin tener en cuenta el costo del vertimiento pues no se pretende aumentar el volumen de agua utilizado, sino un reemplazo, por lo cual se supone que este costo se mantendrá constante se aplique o no el drenaje sostenible en la empresa.

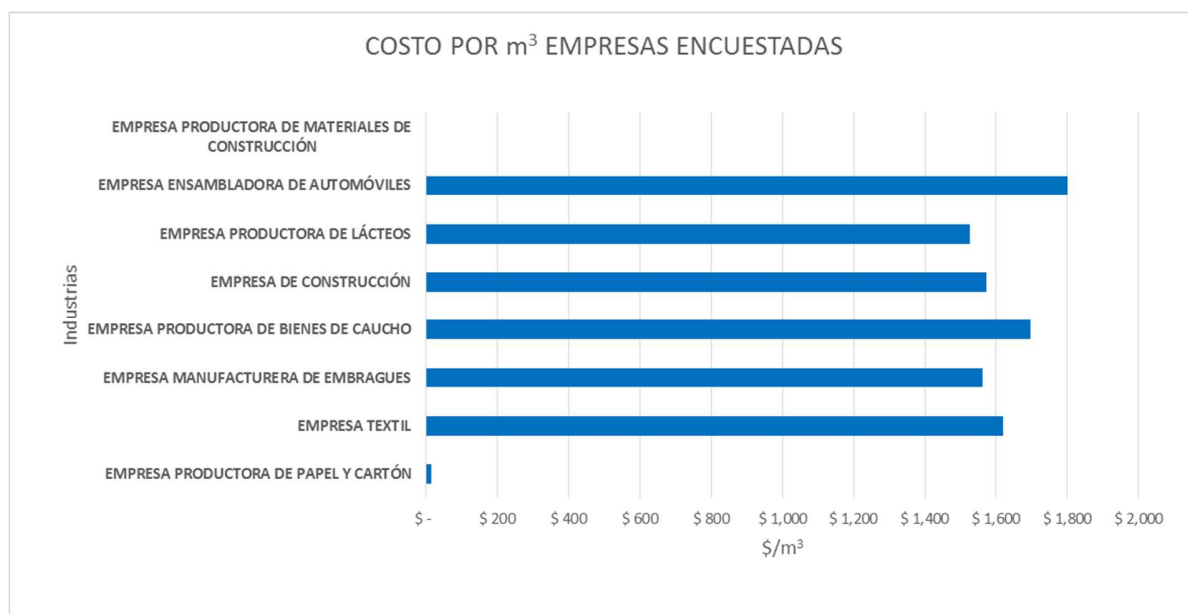


Ilustración 13 Costo por metro cubico empresas encuestadas

Fuente: Encuestas y (Dirección Comercial Aguas y Saneamiento EPM, 2014)

Comparando el porcentaje de agua potable requerida por cada empresa, con el porcentaje de agua potable que en realidad usan se puede sacar el porcentaje que indica cuanto ahorro puede haber en la empresa, este es el porcentaje de oportunidad de este proyecto, donde se debe enfocar para concientizar a las empresas de cuál podría ser el

ahorro. Este porcentaje se obtiene restando el porcentaje que utilizan de agua potable de EPM menos el porcentaje de agua potable requerida y es analizado en la Ilustración 14.

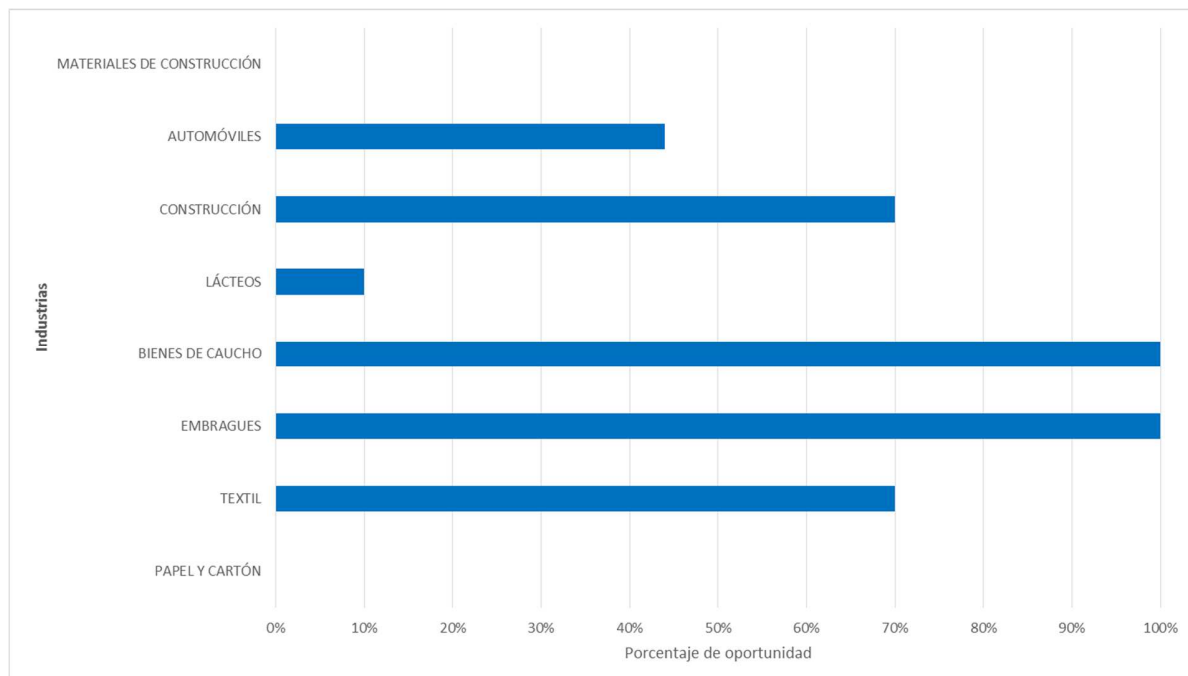


Ilustración 14 Porcentaje de oportunidad del proyecto
Fuente: Encuestas

Si se representa este porcentaje en costos, se puede observar en la Tabla 9, cuanto sería el ahorro aproximado de cada una de las empresas. Teniendo como base las tarifas de EPM para el mes de junio de 2015. Este resultado es suponiendo que la intensidad de la lluvia sea tal que pueda abastecer constantemente los procesos y en la cantidad requerida, con el fin de analizar cuanto sería el ahorro económico obtenido en condiciones ideales.

Tabla 9 Cantidad de dinero a ahorrar por mes

Industrias	Porcentaje de oportunidad	Consumo de agua	Cargo fijo	Costo mensual	Cantidad de m3 a reemplazar	Cantidad de dinero a ahorrar por mes
Empresa productora de papel y cartón	0%	1,400	\$ 12,430	\$ 1,554	-	\$ 12,430
Empresa textil	70%	3,000	\$ 11,908	\$ 1,686	2,100	\$ 3,552,508
Empresa manufacturera de embragues	20%	285	\$ 10,773	\$ 1,525	57	\$ 97,698
Empresa productora de bienes de	100%		\$	\$		\$

Industrias	Porcentaje de oportunidad	Consumo de agua	Cargo fijo	Costo mensual	Cantidad de m3 a reemplazar	Cantidad de dinero a ahorrar por mes
caucho		220	11,602	1,642	220	372,842
Empresa productora de lácteos	10%	18,000	\$ 10,773	\$ 1,525	1,800	\$ 2,755,773
Empresa de construcción	70%	665	\$ 12,430	\$ 1,554	466	\$ 735,817
Empresa ensambladora de automóviles	44%	13,200	\$ 12,845	\$ 1,818	5,808	\$ 10,571,789
Empresa productora de materiales de construcción	0%	250	\$ 12,430	\$ 1,554	-	\$ 12,430

Fuente: Encuestas y (Dirección Comercial Aguas y Saneamiento EPM, 2014)

3.4.4 Interés a futuro

Uno de los factores más importante al elegir la empresa de estudio es el interés mostrado para adquirir a futuro la tecnología propuesta de ser positivos los resultados del trabajo de grado, ya que esto da la oportunidad de llevar a la realidad el diseño, la empresa de autopartes y la empresa de bienes de caucho son las que han expresado mayor interés en el proyecto y mayor disponibilidad ante las solicitudes de información.

El interés por adquirir a futuro el producto es influenciado tanto por el precio por metro cubico como por el hecho de que ya poseen o no un sistema de recolección de agua lluvia. Para el caso de la industria de papel y la de materiales de construcción es bajo el interés por el proyecto ya que el costo de suministro de agua es tan bajo que hacer una inversión por una captación de agua lluvia es totalmente innecesaria, la empresa de elaboración de productos lácteos tampoco expresa mucho interés en adquirir el producto a futuro, ya que el captar agua lluvia para sus procesos le conllevaría implementar mayores controles en salubridad debido a las bacterias que podrían vincularse en el proceso y disminuir la calidad del producto final. El interés por el proyecto para la empresa textil y la empresa automotriz al ya haber implementado sistema de captación de agua lluvia se ve reducido, ya que ya están adquiriendo el ahorro económico en suministro que es uno de los beneficios ofrecidos.

3.5 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es medida según la finalidad para la cual estará destinada, y de acuerdo a parámetros físicos y químicos que determinan sus propiedades, y los cuales garantizan que el agua es apta para el uso final, ya sea consumo humano u otro uso.

Aquatectura es una empresa especializada en soluciones para el manejo sostenible del agua lluvia, representa en Colombia a la empresa australiana Atlantis Corporation, líder

mundial en el desarrollo de tecnologías SUDS con presencia en 25 países y más de 20 años en el mercado.

La Ilustración 15, es un comparativo entre la calidad del agua lluvia contaminada y la calidad del agua lluvia luego de ser purificada y filtrada por el sistema de drenaje sostenible. Según este estudio comparativo realizado por la empresa Atlantis, se pueden lograr reducciones significativas de elementos contaminantes en el agua, mejorando altamente su calidad y por lo tanto dejándola apta para su uso. Para el proyecto de trabajo de grado se pretende darle un uso industrial al agua recolectada, por lo tanto se debe verificar que la calidad del agua ofrecida por el drenaje sostenible cumpla los requisitos de calidad requeridos para cada una de las industrias.

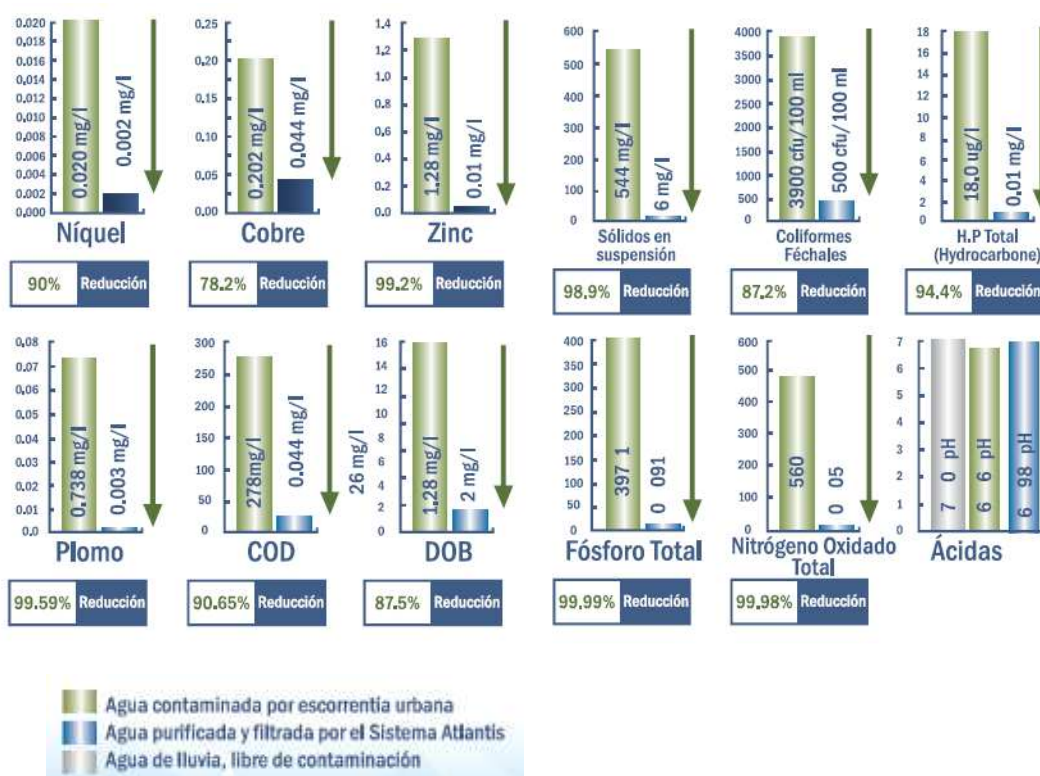


Ilustración 15 Calidad del agua del drenaje sostenible

Fuente: Aquatectura, 2015

En las visitas a las empresas de cada uno de los sectores industriales de interés se preguntó por los requisitos de calidad del agua para uso industrial, es decir, para los procesos que no requieren agua potable, pero que aun así requieren una calidad específica en el agua para no afectar el rendimiento o calidad del proceso, los datos suministrados fueron los siguientes:

¿Requieren y/o exigen los procesos productivos algún tipo de calidad o característica en el agua usada?

1. Empresa productora de papel y cartón

Se necesita libre de SST con pH neutro y libre de sustancias de interés sanitario

2. Empresa textil

PH preferiblemente ácido: entre 6 y 7, dureza total, hierro, cloruros, materia orgánica, conductividad con valores aceptables.

3. Empresa manufacturera de embragues

Los datos para la calidad del agua requerida en la empresa manufacturera se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10 Parámetros de calidad del agua empresa manufacturera de embragues

Parámetros del agua de recirculación	Parámetros ideales
PH potencial de hidrógeno	Entre 7 y 10
Total sólidos disueltos en ppm	Máximo 2000 ppm
Alcalinidad M en ppm como CaCO ₃	Máximo 600 ppm
Dureza Total en ppm como CaCO ₃	Máximo 200 ppm
Fosfatos en ppm como PO ₄	Mínimo 10 ppm
Nitritos en ppm como NO ₂	Mínimo 10 ppm
Conductividad como MOSH/cm	Máximo 2900

Fuente: Encuestas

4. Empresa productora de bienes de caucho

No requiere controlar parámetros de calidad

5. Empresa productora de lácteos

- PH neutro
- Sin grasas y aceites
- Turbiedad inferior a 5
- Baja dureza
- Presencia de cloro residual

6. Empresa de construcción

Sin información

7. Empresa ensambladora de automóviles

La empresa ensambladora de automóviles necesita para sus procesos de producción los siguientes parámetros de calidad, mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11 Parámetros de calidad del agua empresa ensambladora de automóviles

Parámetro Fisicoquímico	Unidades	Número de muestras	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Promedio	Valor referencia
Alcalinidad, como CaCO_3	mg/l	2	4.81	23	16.2	19.6	Máx. 200
Cloro residual, Cl_2	mg/l	36	0.06	0.9	0.7	0.76	Entre 0.3 y 2.0
Cloruros, Cl	mg/l	2	3.46	20.9	16	18.5	Máx. 250
Color	Pt-Co	36	0.32	3	<2	2	Máx. 15
Conductividad	$\mu\text{mhos/cm}$	36	13.57	150	88	120	Máx. 1000
Dureza Total, CaCO_3	mg/l	2	1.84	20.4	17.8	19.1	Máx. 300
Temperatura	°C	36	1.01	21.6	17.3	19.9	Sin referencia
Turbiedad	UNT	36	0.11	0.7	0.15	0.26	Máx. 2
PH	U	36	0.23	7.6	6.8	7.2	Entre 6.5 y 9.0
Aluminio, Al	mg/l	2	0	0.038	0.038	0.038	Máx. 0.2
Hierro, Fe	mg/l	2	0	0.034	0.034	0.034	Máx. 0.3

Fuente: Encuestas-EPM

8. Empresa productora de materiales de construcción

No requieren controlar parámetros de calidad

Los índices de calidad del agua son una herramienta para la evaluación del recurso hídrico, sin embargo estas exigencias son estrictas para el caso del agua de consumo humano, para otras aplicaciones como el uso industrial se requiere evaluar ciertos parámetros que indiquen que el agua es de calidad óptima para el uso en específico; el agua lluvia debe examinarse antes del uso ya que puede verse afectada por los niveles de contaminación de la zona, Colombia debido a riqueza en recursos naturales todavía cuenta con un ambiente poco contaminado en comparación con la situación de otros países más desarrollados, por lo cual el agua lluvia puede verse como una opción de suministro de agua de calidad, por esto mismo no es necesario evaluar todos los parámetros existentes para la calidad del agua para determinar su estado.

Para realizar la comparación se tiene como dato común para todas las industrias el PH y la cantidad de sólidos en suspensión, ya que estos son parámetros indicativos de la calidad del agua, se tomarán como valores de referencia para la verificación.

Tabla 12 Verificación de la calidad del agua requerida por las empresas

INDUSTRIA	PARÁMETROS DE CALIDAD					
	PH			Sólidos en suspensión		
	Cumple	No cumple	No lo requiere	Cumple	No cumple	No lo requiere
Empresa productora de papel y cartón	X			X		
Empresa textil	X			X		
Empresa manufacturera de embragues	X			X		
Empresa productora de lácteos	X			X		
Empresa de construcción			X			X
Empresa ensambladora de automóviles	X					X
Empresa productora de materiales de construcción			X			X
Empresa productora de bienes de caucho			X			X

Fuente: Encuestas

En la Tabla 12 se indica que los requisitos son suplidos por las características finales obtenidas al filtrar el agua en el drenaje sostenible, según lo obtenido se concluye que las exigencias de calidad de agua para los procesos industriales analizados son garantizadas por el drenaje, y que en términos generales el agua suministrada es de buena calidad y es apta para uso en las industrias analizadas.

4. SELECCIÓN DE LAS EMPRESAS A EJECUTAR EL ESTUDIO

Para la elección de las empresas, se tendrán en cuenta aspectos como:

- Cantidad de agua no potable requerida
- Calidad del agua requerida para cada proceso
- Necesidad e interés de la empresa de adquirir un sistema de captación de agua lluvia

En la Tabla 13 se presenta el puntaje de 1 a 10 obtenido según los anteriores análisis, y el peso en porcentaje de cada uno de los criterios evaluados.

Tabla 13 Criterios de selección de las empresas

%	7%	10%	10%	10%	10%	10%	3%	10%	10%	5%	15%	100%
CRITERIOS	Alto consumo de agua	Alto % de agua potable a reemplazar	Alto \$/m ³	Alto % de oportunidad	Alto costo de oportunidad	Requerimientos de calidad	Facilidad de instalación	No cuentan con un sistema de recolección de agua lluvia	Área disponible para la captación	¿Considera el agua lluvia potencial fuente hídrica para el negocio?	Interés por el proyecto a futuro	PUNTAJE TOTAL
Empresa productora de papel y cartón	8	10	1	1	1	8	10	10	10	2	4	5.46
Empresa textil	8	10	10	10	8	8	10	1	10	10	4	5.86
Empresa manufacturera de embragues	4	10	8	6	4	10	10	10	9	10	10	7.28
Empresa productora de bienes de caucho	4	10	8	10	6	10	2	10	9	10	10	7.04
Empresa productora de lácteos	10	4	8	4	8	4	4	10	9	8	6	5.62
Empresa de construcción	6	10	8	10	6	8	4	10	4	10	8	6.24
Empresa ensambladora de automóviles	10	8	8	8	10	6	6	1	10	10	8	5.88
Empresa productora de materiales de construcción	4	10	1	1	1	10	10	10	7	6	4	5.28

Fuente: Encuestas

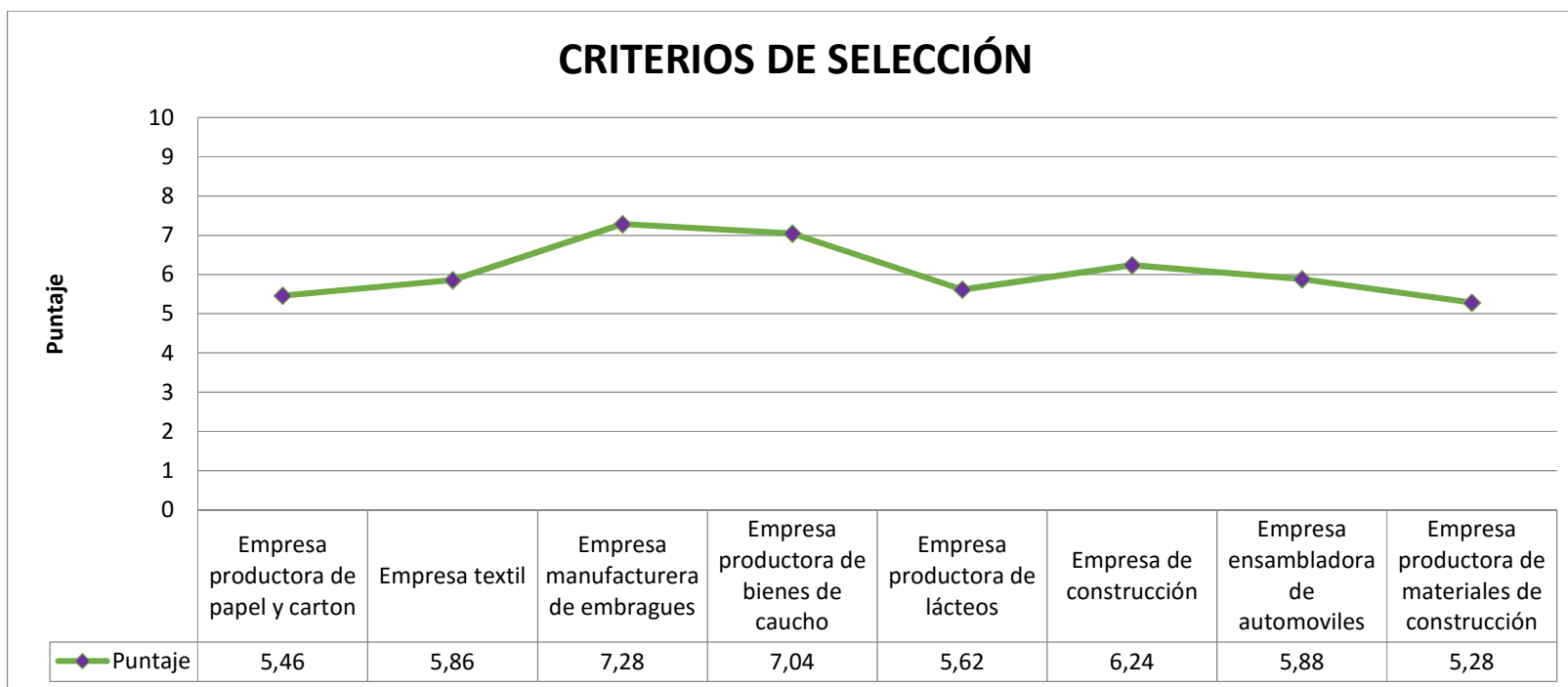


Ilustración 16 Criterios de selección empresas

Fuente: Encuestas

La Ilustración 16 indica que las dos empresas a aplicar el estudio deben ser la empresa productora de bienes de caucho con una calificación de 7.28 y la empresa manufacturera de embragues con una calificación de 6.88 , que a pesar de ser empresas de bajo consumo de agua en comparación con los consumos de las demás industrias, poseen otros factores que las hacen empresas con potencial para la aplicación del proyecto, tales como el interés a futuro y el hecho de no contar con otra fuente de suministro diferente a la empresa de acueducto EPM.

4.1 El agua en el sector de piezas de automóviles

La industria automotriz es uno de los sectores con mayor importancia y aporte a la economía de los países, en Colombia esta industria realiza actividades de ensamblaje y fabricación de partes y piezas; en el año 2012 el parque automotor de país era de alrededor de 3.5 millones de unidades de vehículos, y se prevé que para el año 2020 el total de vehículos se duplique (PROCOLOMBIA, 2014).

Para producir un automóvil es necesario el uso de 400 mil litros de agua aproximadamente (Delgado, 2006), una gran parte de esta agua es utilizada para la producción de baterías, la pintura de la carrocería y el lavado (Hidroagua, 2014), esta última actividad demanda abundante cantidad de agua al día, pero para que el agua pueda ser destinada a esta labor antes debe pasar por un proceso de tratamiento, con el fin de que al enjuagar el vehículo no exista ningún elemento contaminante o mineral no deseado que pueda manchar la carrocería (iWater, 2014). Para el tratamiento del agua muchas industrias del sector utilizan una tecnología de potabilización del agua, llamada Osmosis Inversa, esta permite la remoción de partículas contaminantes de tamaño menor a una micra, es usado tanto para el tratamiento de aguas con fines industriales, como para potabilizar el agua de consumo humano y la desalinización del mar (Hidroagua, 2014).

Para la producción de piezas metálicas la industria automotriz realiza procedimientos como el templado, el cuál es un tratamiento térmico donde por medio de ciclos de calentamiento y enfriamiento se logra aumentar la dureza de la aleación de acero, según la rapidez del enfriamiento y según el tiempo determinado se obtienen las propiedades deseadas (Solá & Pere, 1991). Para lograr el temple los tres medios más utilizados son el agua, el aceite y el aire, de estos el agua es la que logra el temple más severo o más rápido (Callister, 2002). Los engranajes y ejes son elementos comúnmente llevados por el proceso de temple.

4.2 El agua en el sector de productos químicos de especialidad

En Colombia la demanda anual de caucho es de 24.000 toneladas, ya sea caucho natural utilizado como materia prima o para la producción de otros bienes conformados por caucho. La producción del caucho consiste en primer lugar en la mezcla de todos los componentes, luego se da la forma determinada al caucho utilizando agua fría lo que se llama extrusión y así se le da estabilidad, sigue la laminación para obtener perfiles, el moldeo para darle una forma específica y la vulcanización donde se le dan las especificaciones finales al producto (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

En la etapa de extrusión es donde más se necesita agua, cuando el material sale de la extrusora es necesario proporcionarle rigidez para mantener la forma adquirida, esta parte la hacen utilizando un sistema de enfriamiento el cual debe ser uniforme y generalmente realizado en un tanque por el que circula agua a una temperatura específica (Beltrán &

Marcilla, 2012). Las empresas siempre deben buscar una optimización de recursos y podrían aplicar prácticas de producción limpia para ahorrar en el uso de este recurso.

5. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA EN LAS EMPRESAS DEL VALLE DE ABURRÁ

Tres de las empresas visitadas poseen o alguna vez implementaron un sistema de recolección de agua lluvia, estas son la empresa textil, la ensambladora de automóviles y una de las empresas de construcción, las dos primeras con alto consumo de agua, de esta información se concluye que para la muestra de la investigación el 33% utiliza el agua lluvia, el 67% restante no sabe o no ha pensado en hacer una gestión de ella aun cuando la considera una fuente potencial para el negocio, este 67% de la muestra representa el mercado a explotar.

A continuación se presenta en forma generalizada en que consiste el sistema de gestión de agua lluvia y otras características para cada una de estas empresas.

Empresa textil

Anteriormente implementaron un sistema de captación de agua lluvia

- **¿En qué consiste?**
Captación por techos, el agua recolectada baja por las tuberías y es conducida a la planta de tratamiento de agua para luego integrarse al proceso
- **Cantidad de agua que logra recolectar**
200 m³/mes
- **Procesos en que es usada el agua captada**
Todos los procesos
- **Costo de implementación**
\$2'000.000
- **Beneficios**
Económicos y ambientales
- **Inconvenientes**
EPM solicita la instalación de un medidor del agua recolectada, lo que significa un costo mayor de la inversión, y cobra un valor por el agua recuperada.
- **Calidad del agua recolectada**
El agua proveniente de las lluvias logra abastecer todas actividades de la planta de producción, en cuanto a calidad cuenta con muy buen PH, está libre de materia orgánica por la gran oxigenación que trae y cuenta con bajo nivel de hierro.

Empresa ensambladora de automóviles

Actualmente posee un sistema de captación de agua lluvia

- **¿En qué consiste?**

Captación por techos, el agua recolectada baja por las tuberías para mezclarse cada determinado tiempo con el agua suministrada por EPM y el agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa.

- **Cantidad de agua que logra recolectar**
132 m3/mes; en el año 2014 se lograron aprovechar 1285 m3
- **Procesos en que es usada el agua captada**
Proceso de ósmosis inversa
- **Costo de implementación**
Sin información
- **Beneficios**
Ahorro económico significativo y la gratificación de estar cooperando con el medio ambiente
- **Inconvenientes**
Ningún inconveniente
- **Calidad del agua recolectada**
El agua recolectada cumple con los requisitos de calidad del proceso para el cual es utilizada, al ser mezclada con el agua de EPM.

Empresa de construcción

- **¿En qué consiste?**
Para el lavado de herramientas se utilizaron tanques de 500 lt los cuales están conectados directamente a los baños y se realiza el control de ingreso del agua mediante una llave de paso.
Para el lavado de herramientas se utilizaron 3 canecas de 55 galones de las cuales 2 se encuentran elevadas y 1 se encuentra enterrada y se recircula el agua mediante la utilización de la bomba lapicero.
- **Cantidad de agua que logra recolectar**
500 y 110 Litros
- **Procesos en que es usada el agua captada**
Para alimentar los baños y para recircularla en el lavado de herramientas
- **Costo de implementación**
Sin información
- **Beneficios**
 - Económicos
 - Ambientales
 - Tributarios
 - Otros
- **Inconvenientes**
Solo funciona en temporada de lluvia.
- **Calidad del agua recolectada**

Desconocida, satisface los requisitos de calidad para el proceso

Según la información suministrada por las empresas visitadas, se concluye que en Medellín el método de recolección más común es la recolección por medio de techos, donde el agua es dirigida hacia canales que a través de tuberías envían el agua hacia un tanque para el uso posterior, en algunos casos se utiliza un sistema de bombeo para llevarlo hasta donde se necesite, generalmente es baños o riego en las zonas verdes.

En las visitas a estas empresas se pudo notar que ninguna contaba con un sistema muy complejo de captación, incluso una de ellas utilizaba dos tanques grandes que tenía para otro proceso diferente pero en una época donde no tenían que utilizarlos, aprovecharon para captar agua lluvia allí.

En el Valle de Aburrá no se ha implementado ningún método de recolección innovador o diferente al tradicional lo cual representa una ventaja al ofrecer la tecnología SUDS.

5.1 Método de recolección de agua lluvia elegido

Ambas empresas cuentan con un área significativa en techos, por lo cual la captación por techos es la mejor opción en ambos casos, el área verde disponible también puede ser utilizada para captar agua lluvia, ya que se pretende ubicar el drenaje en esta área y aprovechar el agua que cae directamente y se filtra al tanque de almacenamiento de agua lluvia. Los tanques modulares subterráneos se pueden construir de diferentes tamaños según las especificaciones de quien las requiera, son las membranas de PVC que envuelven el tanque las encargadas de no dejar pasar el agua para un óptimo almacenamiento, una ventaja es el área de captación que tienen estos tanques dependiendo del lugar donde se ubiquen, ya que puede ser bajo vías, parqueaderos, canchas o zonas verdes. Otras ventajas con las que cuenta el tanque son: máximo uso y aprovechamiento del espacio, se construye para cualquier volumen y forma requerida y capta, filtra y almacena agua lluvia y potable. (Aquatectura, 2015).

6. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DEL DRENAJE SOSTENIBLE

6.1.1 Armado de los módulos del tanque de almacenamiento

El tiempo de ensamble de los módulos varía entre 2 minutos para un módulo Single, y 13 minutos para un módulo Pent (6 paneles). Cada uno de los tipos de módulos aportan resistencias diferentes, en la Ilustración 17 se ilustran los módulos según la cantidad de paneles y la resistencia aportada en ton/m² (Aquatectura & Atlantis, 2015a).



Ilustración 17 Resistencias por cantidad de paneles cortos

Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

Para el armado se toma el panel grande y se conectan los paneles pequeños según el tipo de módulo, tal como se muestra en Ilustración 18; una vez los paneles cortos estén unidos al panel largo de la base, se coloca el panel largo superior (Aquatectura & Atlantis, 2015a).



Ilustración 18 Armado de módulo triple
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

6.1.2 Instalación del tanque de almacenamiento

Paso 1: Excavación

Se hace la excavación dependiendo de las dimensiones del tanque, el material de relleno y el tipo de carga que vaya a tener el área (Aquatectura & Atlantis, 2015a). En la Ilustración 19, se ilustra la excavación de un tanque de almacenamiento, realizado por la empresa Atlantis.



Ilustración 19 Excavación del tanque
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

Paso 2: Preparación de la base

El material de la base debe ser compactado 95%, si requiere infiltración de agua debe ser con arena o gravilla, de lo contrario se usa un material base del sitio. Este material base debe tener como mínimo 150 mm de profundidad y se compacta. (Aquatectura & Atlantis, 2015a). En la

Ilustración 20 se ilustra la base ya preparada y compactada.



*Ilustración 20 Preparación de la base
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)*

Paso 3: Colocación de la Geomembrana

Se debe instalar una Geomembrana termofusionada en la parte lateral e inferior del tanque, con el fin de contener el agua en el tanque y que no se infiltre en el terreno (Ilustración 21). Las uniones deben ser termofusionadas con maquinaria especializada (Aquatectura & Atlantis, 2015a).



*Ilustración 21 Colocación de la Geomembrana
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)*

Paso 4: Geotextil para envolver los tanques

El geotextil debe ser de 200 gramos, no tejido. Se asegura suficiente geotextil en los extremos para envolver sobre los módulos y deja un traslape de mínimo 300 mm (Aquatectura & Atlantis, 2015a). En la Ilustración 22 se muestra un tanque ya envuelto en el geotextil.



*Ilustración 22 Instalación geotextil
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)*

Paso 5: Instalación de la matriz

Se inicia desde una esquina y se delimita mediante líneas rectas todo el área de instalación y luego se comienza a rellenar la matriz (Aquatectura & Atlantis, 2015a). En la Ilustración 23 se puede apreciar la instalación de la matriz con los módulos ya armados.



Ilustración 23 Instalación de la matriz
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

Paso 6: Instalación de inspección

Consiste en ubicar unas tuberías de inspección que son tubos perforados menores a 150 mm, se ubican verticalmente y asegurando que toquen la parte inferior de la matriz. Se tapan en la parte superior pero siempre permitiendo la salida del aire del tanque (Aquatectura & Atlantis, 2015a). En la Ilustración 24 se ven los tubos de inspección por los cuales se podrá evaluar el estado del tanque en su interior.



Ilustración 24 Instalación del tubo de inspección
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

Paso 7: Fijación de geotextil

Se debe asegurar los traslapes del geotextil con cinta adhesiva (Ilustración 25) para proceder al vaciado de arena (Aquatectura & Atlantis, 2015a).



Ilustración 25 Fijación de geotextil
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

Paso 8: Conexión a la tubería (Entrada y salida de tubos)

Las conexiones se pueden hacer en cualquier lugar de la parte superior o lateral de la matriz. Cada vez que un tubo pase a través del geotextil, el corte debe ser una "X" y se coloca cinta adhesiva para fijar las 4 alneas con el tubo y así se evita el ingreso de sólidos a la matriz (Aquatectura & Atlantis, 2015a).

Paso 9: Relleno lateral

Se utiliza arena de río o gravilla. Se compacta a 95% por tramos de 300 mm con un compactador mecánico (Aquatectura & Atlantis, 2015a). En la Ilustración 26 se muestra el proceso de compactación del relleno lateral.



Ilustración 26 Compactación del relleno lateral
Fuente: (Aquatectura & Atlantis, 2015 a)

Paso 10: Relleno superior

Cuando el relleno lateral llega a la parte superior de la matriz, se comienza a cubrir la estructura con el relleno. Se comienza con una capa de 300mm utilizando un equipo ligero de compactación y se continúa colocando capas de 300mm hasta llegar a 1000 mm (Aquatectura & Atlantis, 2015a).

Paso 11: Celdas de drenaje superiores

Para garantizar el paso del agua lluvia al tanque, se ubican una serie de filas de celdas de drenaje de 52 mm encima del tanque y debajo de la grama.

7. DISEÑO DEL DRENAJE SOSTENIBLE

7.1 EMPRESA MANUFACTURERA DE EMBRAGUES

7.1.1 Descripción de los procesos a abastecer

Un embrague es una pieza propia de los vehículos de cambio manual, esta pieza se encarga de transmitir la potencia del motor a la caja de cambios del automóvil, permitiendo realizar manualmente los cambios de marcha al conducir, ya que separa y une el giro del motor a la transmisión para generar movimiento hacia las ruedas cada que se genere una marcha engranada (RODES, 2015).

En la empresa manufacturera de embragues existen dos procesos que utilizan agua para el desarrollo del producto, estos son el proceso de temple, que es abastecido por la torre de enfriamiento y el proceso de limpieza, anteriormente se verificó que ambos procesos pueden ser abastecidos con el agua lluvia captada por el drenaje sostenible.

Torre de enfriamiento

La torre de enfriamiento se encarga de dispersar el flujo de calor del agua que fluye hacia el colector principal del tanque, por medio del flujo de aire seco y frío que circula por la torre (Cataluña, n.d.), en la empresa se enfría el agua proveniente del temple de los metales, para dejarla nuevamente con las condiciones que debe tener para iniciar el proceso de temple de las siguientes piezas, el agua circula entre el tanque de temple y la torre de enfriamiento continuamente, y genera consumos por uso y evaporación. En la Ilustración 27 se muestra una fotografía de la torre de enfriamiento de la empresa, la cual está situada a nivel de piso de la empresa y en la zona de patios.



Ilustración 27 Torre de enfriamiento Empresa manufacturera de embragues

Proceso de temple – Tanque de temple

Los discos de embrague deben ser sometidos al proceso de temple para adquirir las propiedades necesarias de su función, el temple es un tratamiento térmico que tiene por

objetivo aumentar la dureza, tenacidad y resistencia mecánica del material(LABORATORIO DE PRODUCCION. U.C de Ingeniería, 2008).

Este proceso consta de dos etapas, la primera es calentar el material a una temperatura cercana a 1000°C hasta transformar toda la masa en Austenita (Ilustración 28) y la segunda es el ingresar el material a un tanque de agua helada (Ilustración 29 e Ilustración 30) para generar un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera) en donde la masa se convierte en Martensita, la cual es la estructura típica de los aceros templados (LABORATORIO DE PRODUCCION. U.C de Ingeniería, 2008).



Ilustración 28
Calentamiento del
embrague-Empresa
productora de embragues
Fuente: Videos proceso de
fabricación – Empresa
manufacturera de
embragues



Ilustración 29 Ingreso del
disco de embrague caliente
al agua helada
Fuente: Videos proceso de
fabricación – Empresa
manufacturera de
embragues



Ilustración 30 Enfriamiento
del disco de embrague en
el tanque de temple
Fuente: Videos proceso de
fabricación – Empresa
manufacturera de
embragues

Proceso de limpieza - Planta de limpieza



Ilustración 31 Planta de limpieza empresa manufacturera de embragues

Los discos y otras piezas de metal fabricados deben pasar por un proceso de limpieza antes de ser almacenados en el almacén de producto terminado, la limpieza se realiza en la planta de limpieza de la empresa (Ilustración 31) donde hay tres tanques de capacidad de 1 m³ de agua donde son sumergidas las piezas junto con sustancias especiales para eliminar contaminantes tales como grasa, aceite, cera, huellas digitales, óxidos y otros depósitos superficiales (Skymen, 2015).

7.1.2 Cantidad de agua requerida para el abastecimiento de los procesos

En la empresa manufacturera de embragues se lleva un registro del consumo para cada uno de los procesos ya sean industriales (Tabla 14), o domésticos, este registro es tomado el último día de cada mes, para el análisis se tomaron los datos de consumo desde el año 2013, para luego sacar un promedio aproximado de la cantidad de agua necesaria para abastecer cada uno de los procesos, así mismo determinar si el consumo es uniforme a lo largo del año o si existen períodos con mayor o menor requerimiento de agua.

Tabla 14 Consumo de agua industrial empresa manufacturera de embragues

MES	TORRE DE ENFRIAMIENTO (m³)								PLANTA DE LIMPIEZA (m³)								TANQUE TEMPLE (m³)
	2013		2014		2015		Promedio	Promedio anual	2013		2014		2015		Promedio	Promedio anual	Consumo mes
	Consumo acumulado	Consumo mes	Consumo acumulado	Consumo mes	Consumo acumulado	Consumo mes			Consumo acumulado	Consumo mes	Consumo acumulado	Consumo mes	Consumo acumulado	Consumo mes			
Dic	-	-	4228	-	4697	-	-	61	-	-	869	-	912	-	-	3	-
Ene	3115	-	4281	53	4697	-	53	61	813	-	873	4	913	1	2	3	15
Feb	3258	143	4336	54	4743	46	81	61	814	2	882	10	914	1	4	3	-
Mar	3387	129	4402	66	4798	55	83	61	816	2	889	7	915	2	4	3	-
Abr	3485	98	4446	44	4852	54	66	61	818	1	896	7	917	2	3	3	-
May	3592	107	4481	35	4895	43	62	61	820	2	899	3	918	1	2	3	-
Jun	3699	107	4501	20	4932	37	55	61	826	6	899	0	920	2	3	3	-
Jul	3800	101	4548	47	-	-	74	61	-	-	901	2	-	-	2	3	15
Ago	3922	122	4578	30	-	-	76	61	-	-	904	3	-	-	3	3	-
Sep	4019	97	4622	44	-	-	71	61	-	-	909	5	-	-	5	3	-
Oct	4122	103	4648	26	-	-	65	61	-	-	910	1	-	-	1	3	-
Nov	-	-	4678	30	-	-	30	61	-	-	911	1	-	-	1	3	-
Dic	-	-	4697	20	-	-	20	61	-	-	912	1	-	-	1	3	-

Fuente: Datos suministrados por la empresa manufacturera de embragues

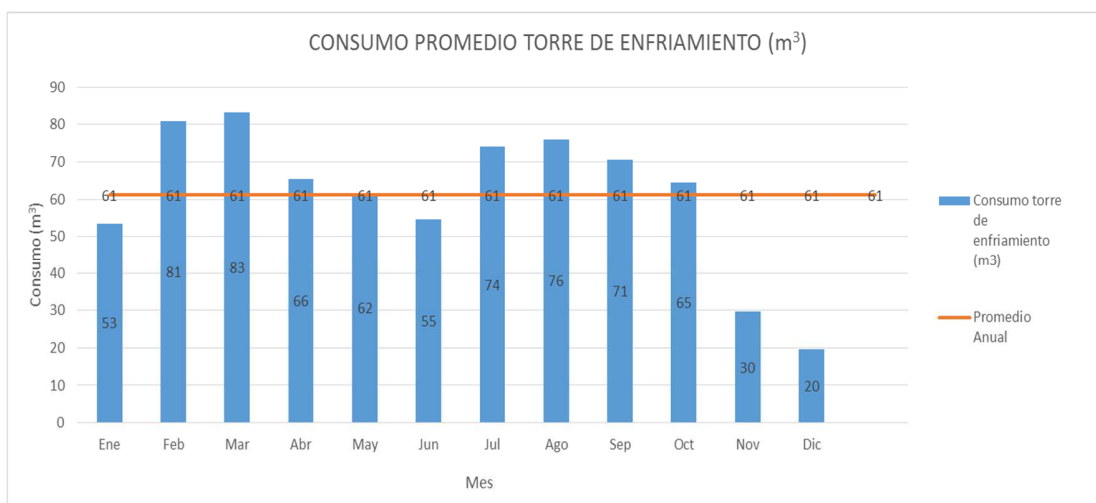


Ilustración 32 Consumo promedio Torre de enfriamiento Empresa manufacturera de embragues
Fuente: Datos suministrados por la empresa manufacturera de embragues

La Ilustración 32 contiene los consumos mensuales de agua de la torre de enfriamiento, el cual oscila entre 20 y 80 m³, este consumo no es homogéneo en el transcurso del año, por lo cual se concluye que para lograr abastecer este proceso debe tenerse disponible para cada mes un volumen promedio de 61 m³.

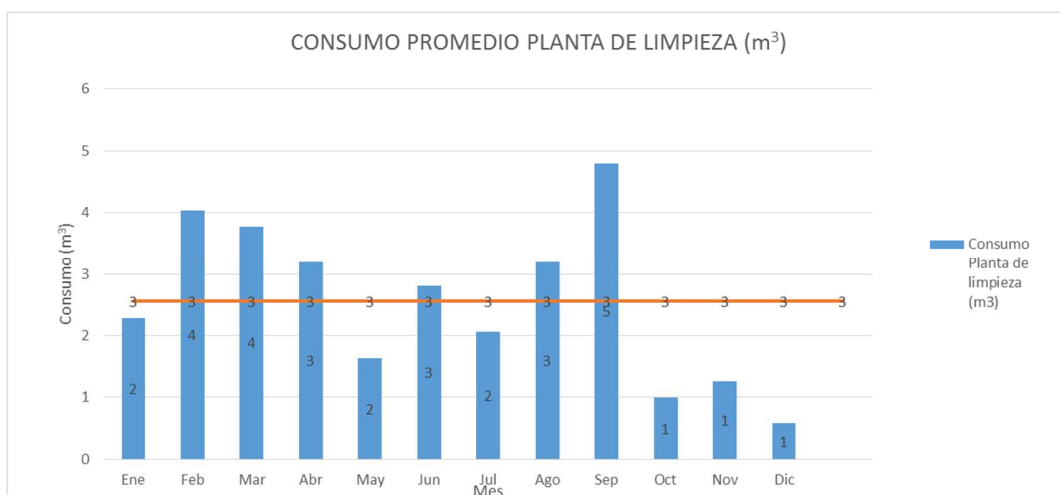


Ilustración 33 Consumo promedio Planta de limpieza Empresa manufacturera de embragues
Fuente: Datos suministrados por la empresa manufacturera de embragues

La Ilustración 33 muestra el consumo de agua para el funcionamiento de la planta de limpieza, la cual representa tanto el volumen de los tanques de limpieza como el agua utilizada para la limpieza de los elementos con manguera; según el gráfico debe tenerse disponible para este proceso en promedio un volumen de tres metros cúbicos.

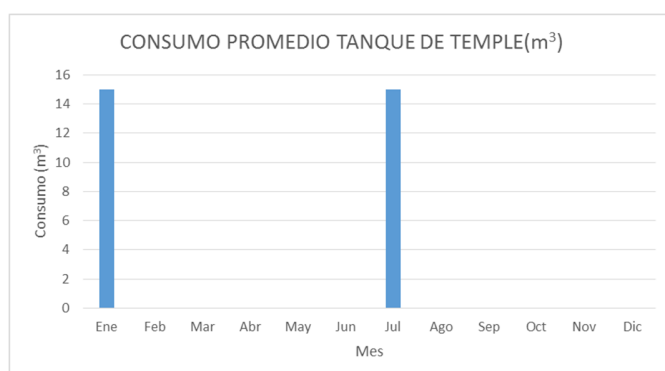


Ilustración 34 Consumo Tanque de temple (m³)

La Ilustración 34 muestra el consumo del tanque de temple, el cual se abastece de agua cada seis meses con 15 m³ de agua potable.

Para más detalles ver Anexo 1, hoja “Consumos”.

○ **Volumen total efectivo de agua**

Considerando que al almacenar el agua pueden generarse pérdidas por evaporación e infiltración, se debe considerar un volumen mayor para la captación. Suponiendo que las pérdidas representan el 10%, el volumen efectivo de agua lluvia a captar es:

Volumen total efectivo = 110 % x Volumen total

Tabla 15 Volumen total efectivo de agua industrial

CANTIDAD DE AGUA INDUSTRIAL REQUERIDA				
Mes	Volumen de agua requerido		Volumen total efectivo	
	Volumen del mes	Volumen acumulado	Volumen del mes	Volumen acumulado
Ene	79	79	87	87
Feb	64	142	70	157
Mar	64	206	70	227
Abr	64	270	70	297
May	64	334	70	367
Jun	64	397	70	437
Jul	79	476	87	524
Ago	64	540	70	594
Sep	64	603	70	664
Oct	64	667	70	734
Nov	64	731	70	804
Dic	64	795	70	874

Fuente: Datos suministrados por la empresa manufacturera de embragues

7.1.3 Determinación de la precipitación promedio

La empresa manufacturera de embragues está ubicada en el sector de Guayabal por lo cual se tomaron los datos pluviométricos de la estación Olaya Herrera, de los últimos 15 años, desde enero del año 2000 hasta abril del año 2015, estos datos fueron suministrados por el IDEAM y se muestran en la Tabla 16 Precipitaciones totales Estación Olaya Herrera en mm.

Tabla 16 Precipitaciones totales Estación Olaya Herrera

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VALOR ANUAL
2000	11.4	138.3	172.4	148.9	400.1	242.7	201.1	145.7	241.6	122.4	73.7	134	2132.3
2001	72.1	48.6	90.1	62.6	124	76.3	150.7	18.4	191.8	285.5	136	155.8	1411.9
2002	31.6	52	72.4	207.6	234.3	150.7	81.6	67.8	133.4	163.3	115.1	139.9	1449.7
2003	3.3	93.4	92.6	195.6	173.3	231.3	87.3	114.9	161.1	216.5	203.4	77.5	1650.2
2004	44.4	87.9	96.4	221.5	207.3	50.4	191.5	102.4	221.3	266.4	155	99.9	1844.4
2005	41	18.1	136.1	180.4	402.3	102.8	156.1	94.8	192.4	244	145.3	87.4	1800.7
2006	86.7	92.4	200	264.2	278.9	172.3	85.3	131.8	146	236.7	222.6	108.2	2025.1
2007	26.5	30.8	182.9	213.9	253.5	65.4	219	213	209.7	344.6	164.1	124.1	2047.5
2008	88.2	216.9	188.5	220.6	368.2	259	220.7	315.3	220.4	188.9	206.2	61.3	2554.2
2009	99.8	55.2	188.3	168.8	172.4	158.4	97.7	95.8	49.6	160.1	183.9	73.9	1503.9
2010	31.8	26.5	64.5	206	189	231.9	313.9	147.5	305.1	227.4	301.1	175.5	2220.2
2011	8.4	178	141.9	380	177.8	289.5	179.5	146.5	234.4	224	230.8	227.3	2518.1
2012	92.1	27.8	107	306.5	173.6	105.1	75.9	124.5	51.8	218.8	154.1	51.9	1489.1
2013	36.4	168.4	117.3	123.8	234.8	138	33.8	189.9	123.1	162.6	233.1	126.5	1687.7
2014	71.9	108.2	99.4	187.5	152.6	69.4	24.8	112.8	117.3	277.1	158	115.4	1494.4
2015	62.5	80.6	131.2	180.1	-	-	-	-	-	-	-	-	454.4
MAXIMOS	99.8	216.9	200	380	402.3	289.5	313.9	315.3	305.1	344.6	301.1	227.3	2554.2
MINIMOS	3.3	18.1	64.5	62.6	124	50.4	24.8	18.4	49.6	122.4	73.7	51.9	454.4

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VALOR ANUAL
Ppi	50.50	88.94	130.06	204.25	236.14	156.21	141.26	134.74	173.26	222.55	178.82	117.24	1767.73

Fuente: IDEAM

El cálculo de la precipitación promedio mensual está dado por la Ecuación 1:

Ecuación 1 Precipitación promedio mensual

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

Ppi: Precipitación promedio mensual del mes i de los años evaluados (mm)

n: Número de años evaluados

Pi: Valor de precipitación mensual del mes i (mm)

7.1.4 Análisis de los datos de precipitación

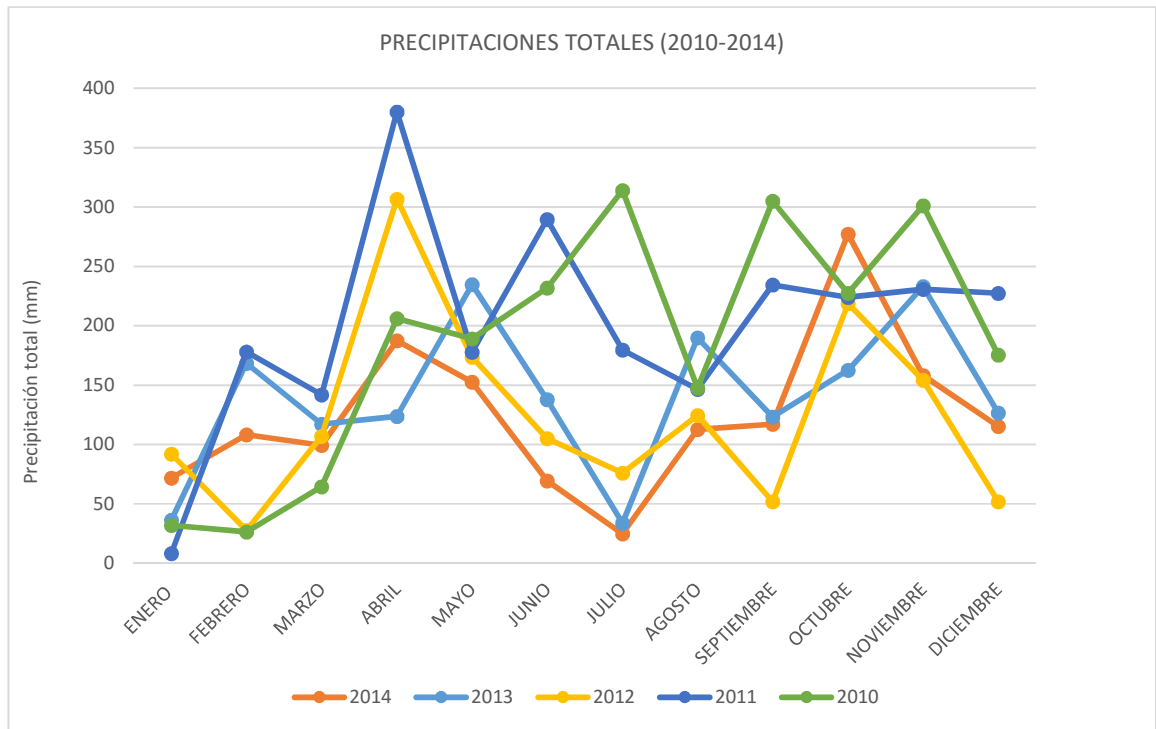


Ilustración 35 Precipitaciones totales mensuales Estación Olaya Herrera(2010-2014)
Fuente: IDEAM

En la Ilustración 35 se grafican los datos de precipitación total obtenida por mes para los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014; y se llega a las siguientes conclusiones:

- Según la dispersión de los datos se observa que para los meses de enero, marzo, mayo, agosto y octubre se tuvieron valores de precipitación similares en los años analizados, por el contrario en los meses de febrero, abril, junio, julio, septiembre, noviembre y diciembre se tuvieron valores más alejados año a año.
- Para la mayoría de los años coincide el mes de abril como el mes de mayor precipitación total, con valor máximo en el 2011 obteniendo un valor mayor a los 350 mm.
- Enero, febrero y julio presentan para la mayoría de los años los valores más bajos de precipitación total.

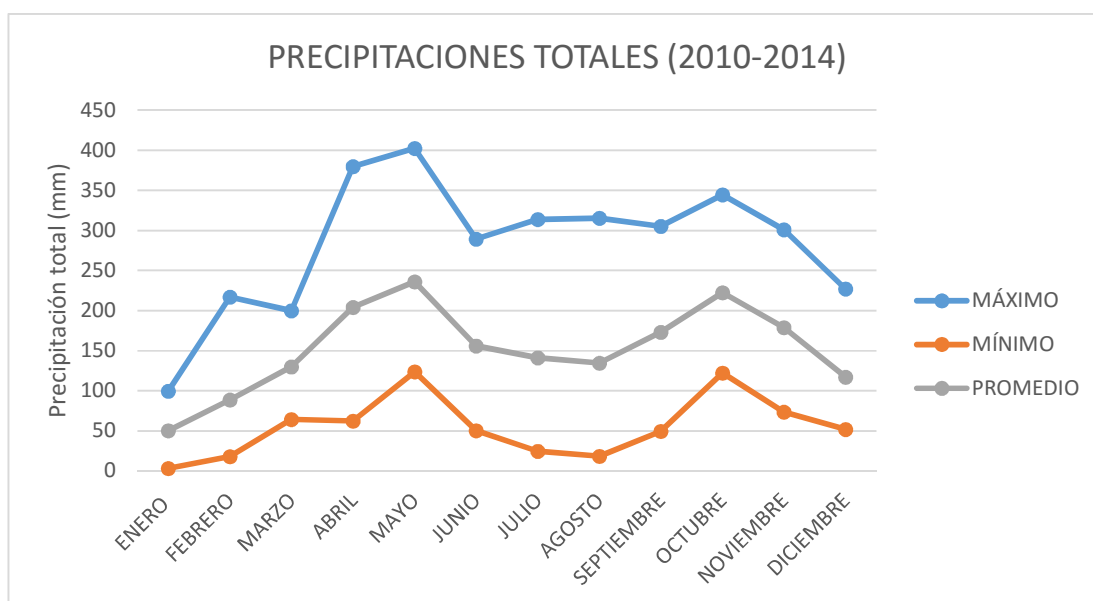


Ilustración 36 Precipitaciones totales mensuales promedio (2000-2015)
Fuente: IDEAM

En la Ilustración 36 se observa la tendencia de las precipitaciones promedio para los años 2000 a 2015, con valores mayores para los meses de abril, mayo y octubre; y valores menores para los meses de enero, febrero, julio y agosto.

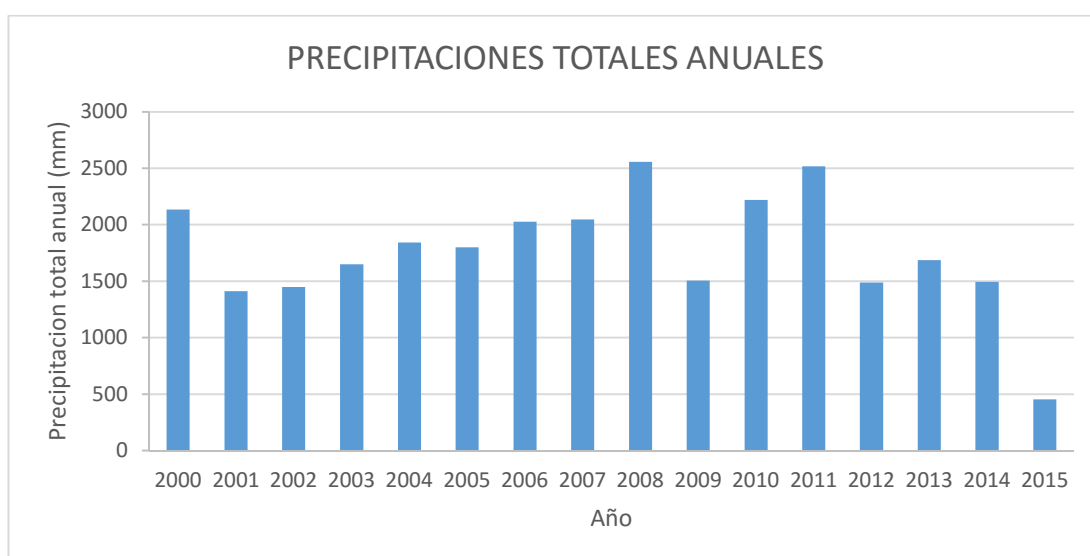


Ilustración 37 Precipitaciones totales anuales Estación Olaya Herrera (2000-2015)
Fuente: IDEAM

En la Ilustración 37 se muestran las precipitaciones totales de cada año desde el año 2000 hasta el año 2015, según el gráfico los años con mayor valor de precipitación son los años 2008 y 2011 y los años más secos fueron el año 2001, 2002, 2009, 2012 y 2014.

Los anteriores resultados son prueba de que el comportamiento climático no es constante, estas variaciones se conocen como variabilidad climática. La interacción océano-atmósfera da origen a este fenómeno conocido como el Fenómeno de El Niño y La Niña.(IDEAM, 2015)

El fenómeno de El Niño y La Niña:

El niño es una alteración en el sistema océano-atmósfera caracterizada por el aumento de la temperatura desde el centro del océano hasta las costas de Sudamérica, este fenómeno provoca una disminución en las precipitaciones y un aumento en la temperatura. Este fenómeno se manifiesta de forma cíclica, en donde la fase cálida corresponde a la presencia del niño y la fase fría al fenómeno de la niña.(IDEAM, 2015)

El niño es caracterizado por un ONI (Índice Oceánico de El Niño) positivo, mayor o igual a +0.5°C y la niña caracterizada por un ONI negativo, menor o igual a -0.5°C, y que estos eventos se presenten durante 3 meses consecutivos.(IDEAM, 2015).

Tabla 17 Índice ONI - Niños y Niñas Históricos (2003-2015)

Año	Dic- Ene- Feb	Ene- Feb- Mar	Feb- Mar- Abr	Mar- Abr- May	Abr- May- Jun	May- Jun-Jul	Jun- Jul- Ago	Jul- Ago- Sep	Ago- Sep- Oct	Sep- Oct- Nov	Oct- Nov- Dic	Nov- Dic- Ene
2003	1.1	0.8	0.4	0.0	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8
2006	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.0
2007	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4
2008	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6
2010	1.6	1.3	1.0	0.6	0.1	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
2012	-0.9	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	-0.3
2013	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4
2014	-0.6	-0.6	-0.5	-0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7	0.7
2015	0.6	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: IDEAM

En la Tabla 17 están los registros del índice ONI para los años 2003 a 2015, los trimestres con un valor de ONI menor o igual que -0.5°C representan los períodos más fríos y más lluviosos (Niña), y los trimestres con un valor de ONI mayor e igual que +0.5°C representan los períodos más cálidos y secos (Niño).

Los datos de precipitaciones totales de la Ilustración 37 concuerdan con los registros históricos de la Tabla 17, en los años 2008 y 2011 se presentaron mayor número de períodos con índice ONI menor o igual a -0.5°C, por lo cual fueron los años con mayor cantidad de precipitaciones totales, y el año 2009 como un año de pocas precipitaciones.

7.1.5 Área de captación

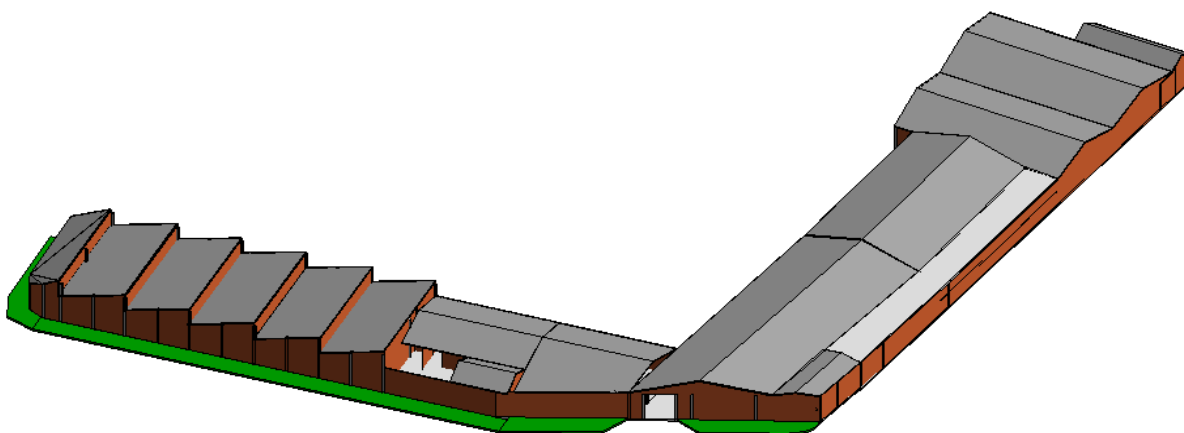


Ilustración 38 Esquema de la planta de producción de la empresa manufacturera de embragues
Fuente: Creación propia

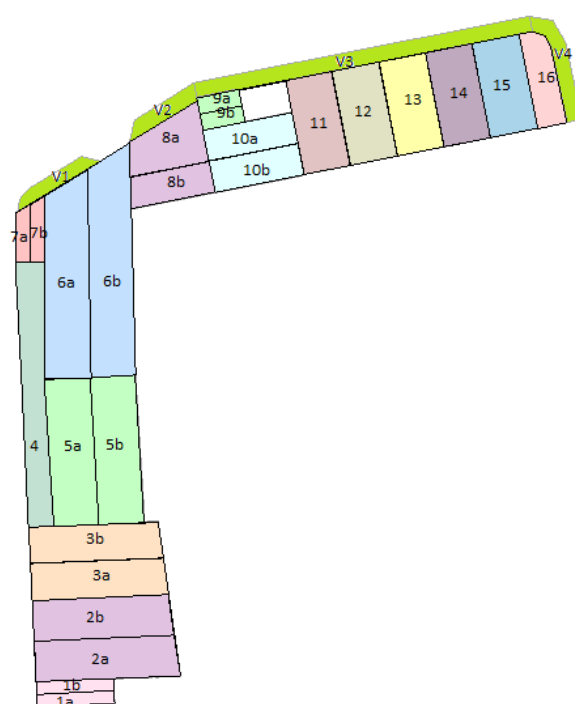


Ilustración 39 Esquema áreas techos y área verde Empresa manufacturera de embragues
Fuente: Creación propia

La Ilustración 38 es una representación esquemática de la planta de producción de la empresa manufacturera de embragues en 3D, los techos de la empresa cuentan con pendientes del 20% al 27%, lo que facilita la conducción rápida del agua a los canales; la Ilustración 39 es la vista en planta de la empresa, de la cual se calculan las áreas proyectadas; en la Tabla 18 se encuentra el valor del área para cada sección de techo y área verde de la planta.

Tabla 18 Área techos y área verde empresa manufacturera de embragues

Área Número	Área (m ²)	Área Número	Área (m ²)	Área Número	Área (m ²)
1a	65.756	6b	649.941	12	296.531
1b	65.756	7a	53.685	13	296.531
2a	384.264	7b	57.247	14	296.531
2b	373.017	8a	245.497	15	296.531
3a	330.511	8b	171.546	16	180.083
3b	314.703	9a	46.949	V1	86.322
4	439.312	9b	46.949	V2	82.879
5a	449.698	10a	188.472	V3	343.573
5b	441.764	10b	188.472	V4	117.163
6a	581.87	11	296.531		

7.1.6 Oferta vs Demanda de agua

Se compara el volumen mensual de precipitación, que corresponde a la oferta de agua mensual contra el volumen que demandan los procesos mensualmente.

En la Tabla 20 se calculó el volumen de agua de precipitación que se puede llegar a captar por cada sección de techo en m³, este valor se obtuvo de pasar los milímetros de precipitación de cada mes a la unidad metro, para multiplicarlo luego por el área respectiva de cada sección de techo. Para mayor seguridad se utilizaron los valores de precipitación mínima, así poder tener certeza de la cantidad de agua lluvia disponible.

El volumen captado depende del tipo de material de captación de acuerdo al coeficiente de escorrentía, estos se muestran en la Tabla 19., para la captación en cubiertas se tiene un coeficiente de escorrentía $C = 0.95$, y para la captación en jardines $C = 0.3$.

Además para tener en cuenta las pérdidas por evaporación y absorción se supone un porcentaje de pérdidas del 20% para la captación en jardines. (Ministerio de Desarrollo Economico, 2000)

Tabla 19 Coeficiente de escorrentía

Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad	
Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Economico, 2000)

Ecuación 2 Volumen de precipitación mensual

$$\text{Volumen de precipitación mensual} = \text{Precipitación mes } i * \text{Área techo}$$

Ecuación 3 Oferta efectiva de agua lluvia en jardines

$$\text{Oferta efectiva en jardines} = \text{Volumen de precipitación mensual} * C * 80\%$$

Ecuación 4 Oferta efectiva de agua lluvia en cubiertas

$$\text{Oferta efectiva en cubiertas} = \text{Volumen de precipitación mensual} * C$$

Tabla 20 Oferta mensual de agua lluvia Empresa manufacturera de embragues

OFERTA MENSUAL APORTADA POR CADA ÁREA DE TECHO														
Techo Número	Área (m2)	Volumen de precipitación (m³)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL
1a	65,756	0,22	1,19	4,24	4,12	8,15	3,31	1,63	1,21	3,26	8,05	4,85	3,41	43,64
1b	65,756	0,22	1,19	4,24	4,12	8,15	3,31	1,63	1,21	3,26	8,05	4,85	3,41	43,64
2a	384,264	1,27	6,96	24,79	24,05	47,65	19,37	9,53	7,07	19,06	47,03	28,32	19,94	255,04
2b	373,017	1,23	6,75	24,06	23,35	46,25	18,80	9,25	6,86	18,50	45,66	27,49	19,36	247,57
3a	330,511	1,09	5,98	21,32	20,69	40,98	16,66	8,20	6,08	16,39	40,45	24,36	17,15	219,36
3b	314,703	1,04	5,70	20,30	19,70	39,02	15,86	7,80	5,79	15,61	38,52	23,19	16,33	208,87
4	439,312	1,45	7,95	28,34	27,50	54,47	22,14	10,89	8,08	21,79	53,77	32,38	22,80	291,57
5a	449,698	1,48	8,14	29,01	28,15	55,76	22,66	11,15	8,27	22,31	55,04	33,14	23,34	298,46
5b	441,764	1,46	8,00	28,49	27,65	54,78	22,26	10,96	8,13	21,91	54,07	32,56	22,93	293,20
6a	581,87	1,92	10,53	37,53	36,43	72,15	29,33	14,43	10,71	28,86	71,22	42,88	30,20	386,19
6b	649,941	2,14	11,76	41,92	40,69	80,59	32,76	16,12	11,96	32,24	79,55	47,90	33,73	431,37
7a	53,685	0,18	0,97	3,46	3,36	6,66	2,71	1,33	0,99	2,66	6,57	3,96	2,79	35,63
7b	57,247	0,19	1,04	3,69	3,58	7,10	2,89	1,42	1,05	2,84	7,01	4,22	2,97	37,99
8a	245,497	0,81	4,44	15,83	15,37	30,44	12,37	6,09	4,52	12,18	30,05	18,09	12,74	162,94
8b	171,546	0,57	3,10	11,06	10,74	21,27	8,65	4,25	3,16	8,51	21,00	12,64	8,90	113,86
9a	46,949	0,15	0,85	3,03	2,94	5,82	2,37	1,16	0,86	2,33	5,75	3,46	2,44	31,16
9b	46,949	0,15	0,85	3,03	2,94	5,82	2,37	1,16	0,86	2,33	5,75	3,46	2,44	31,16
10a	188,472	0,62	3,41	12,16	11,80	23,37	9,50	4,67	3,47	9,35	23,07	13,89	9,78	125,09
10b	188,472	0,62	3,41	12,16	11,80	23,37	9,50	4,67	3,47	9,35	23,07	13,89	9,78	125,09
11	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81

OFERTA MENSUAL APORTADA POR CADA ÁREA DE TECHO														
Techo Número	Área (m2)	Volumen de precipitación (m³)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL
12	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
13	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
14	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
15	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
16	180,083	0,59	3,26	11,62	11,27	22,33	9,08	4,47	3,31	8,93	22,04	13,27	9,35	119,52
V1	86,322	0,28	1,56	5,57	5,40	10,70	4,35	2,14	1,59	4,28	10,57	6,36	4,48	57,29
V2	82,879	0,27	1,50	5,35	5,19	10,28	4,18	2,06	1,52	4,11	10,14	6,11	4,30	55,01
V3	343,573	1,13	6,22	22,16	21,51	42,60	17,32	8,52	6,32	17,04	42,05	25,32	17,83	228,03
V4	117,163	0,39	2,12	7,56	7,33	14,53	5,91	2,91	2,16	5,81	14,34	8,63	6,08	77,76
Total cubiertas	6758,147	20,62	113,11	403,07	391,20	774,90	314,96	154,98	114,98	309,96	764,90	460,56	324,33	4147,57
Total jardines	629,937	0,62	3,42	12,19	11,83	23,43	9,52	4,69	3,48	9,37	23,13	13,93	9,81	125,43
Oferta efectiva cubiertas		20,62	113,11	403,07	391,20	774,90	314,96	154,98	114,98	309,96	764,90	460,56	324,33	4147,57
Oferta efectiva jardines		0,50	2,74	9,75	9,46	18,75	7,62	3,75	2,78	7,50	18,51	11,14	7,85	100,34
Oferta total		21,12	115,85	412,82	400,66	793,64	322,58	158,73	117,77	317,46	783,40	471,71	332,18	4247,91

La Tabla 21 compara los valores de volumen de precipitación obtenidos en la tabla anterior contra los valores de demanda de agua, para la Empresa manufacturera de embragues.

Tabla 21 Oferta vs Demanda Empresa manufacturera de embragues

Mes	OFERTA TOTAL (m³)	DEMANDA TOTAL (m³)
Ene	21,12	86,59
Feb	115,85	70,09
Mar	412,82	70,09
Abr	400,66	70,09
May	793,64	70,09
Jun	322,58	70,09
Jul	158,73	86,59
Ago	117,77	70,09
Sep	317,46	70,09
Oct	783,40	70,09
Nov	471,71	70,09
Dic	332,18	70,09

La Ilustración 40 indica que para todos los meses excepto el mes de enero se puede suplir en su totalidad la demanda de agua en la empresa con el uso de agua lluvia.

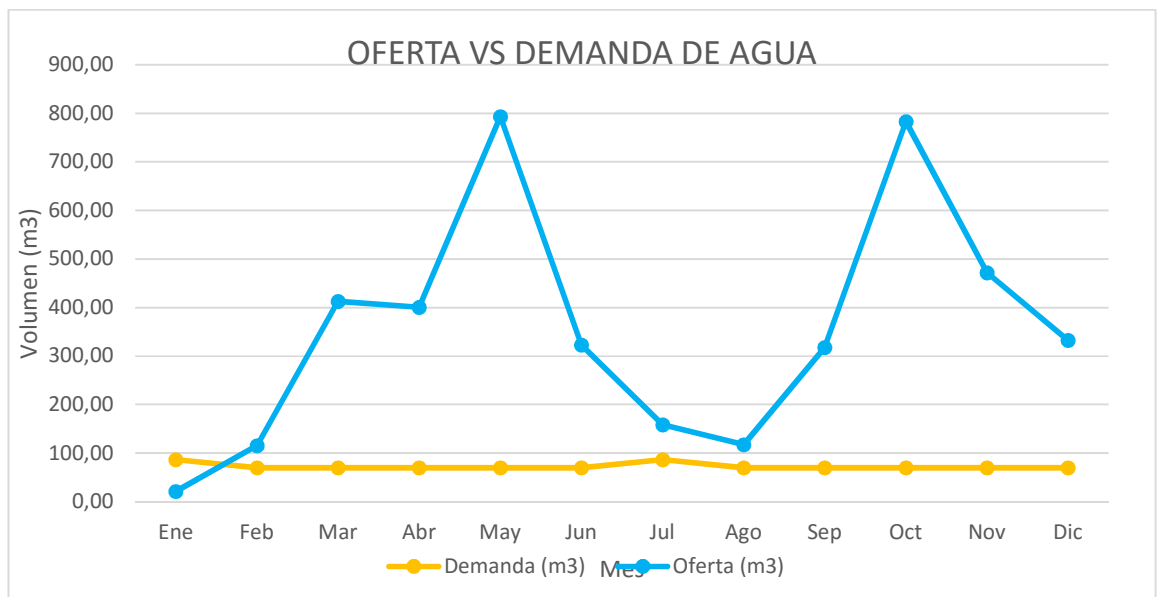


Ilustración 40 Oferta VS Demanda de agua Empresa manufacturera de embragues

7.1.7 Ubicación del tanque de almacenamiento



Ilustración 41 Ubicación tanque de almacenamiento Empresa manufacturera de embragues
Fuente: Fotografía

El tanque de almacenamiento se ubicaría en el corredor de área verde de la empresa, denominado V3, tal como se ilustra en la Ilustración 41

7.1.8 Techos necesarios para suplir la demanda de agua

Para suplir la demanda de agua de la empresa no es necesario contar con toda el área de captación anteriormente analizada, por lo cual se analizan cuáles de los techos cercanos al tanque de almacenamiento cuentan con el área suficiente para suplir la demanda de agua, y así no exceder el espacio disponible para la disposición del tanque de almacenamiento. En la Ilustración 42 se identifican los techos elegidos con un color diferente al gris, y el área verde inmediatamente encima del tanque de almacenamiento.

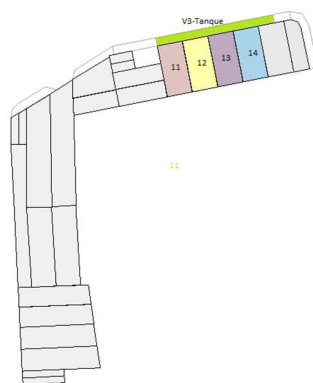


Ilustración 42 Área elegida para la captación Empresa manufacturera de embragues

En la Tabla 22 se muestran los techos necesarios según su área y cercanía al lugar de captación, y se presenta el volumen de oferta efectiva de cada uno de ellos.

Tabla 22 Oferta mensual aportada por una sección de techo Empresa manufacturera de embragues

Techo Número	Área (m2)	Volumen de precipitación (m³)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL
11	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
12	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
13	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
14	296,531	0,98	5,37	19,13	18,56	36,77	14,95	7,35	5,46	14,71	36,30	21,85	15,39	196,81
V3 - Área tanque	219	0,72	3,96	14,13	13,71	27,16	11,04	5,43	4,03	10,86	26,81	16,14	11,37	145,35
Total cubiertas	6461,616	3,72	20,40	72,68	70,54	139,73	56,79	27,95	20,73	55,89	137,92	83,05	58,48	747,87
Total jardines	505,364	0,22	1,19	4,24	4,11	8,15	3,31	1,63	1,21	3,26	8,04	4,84	3,41	43,61
Oferta efectiva cubiertas		3,72	20,40	72,68	70,54	139,73	56,79	27,95	20,73	55,89	137,92	83,05	58,48	747,87
Oferta efectiva jardines		0,17	0,95	3,39	3,29	6,52	2,65	1,30	0,97	2,61	6,43	3,87	2,73	34,88
Oferta total		3,89	21,35	76,07	73,83	146,24	59,44	29,25	21,70	58,50	144,36	86,92	61,21	782,75

7.1.9 Volumen de almacenamiento

En la Tabla 23 se realizó la verificación para cumplir la demanda de agua mensual con el conjunto de techos elegido, teniendo en cuenta el área disponible para la captación con la que cuenta la empresa, y procurando obtener el mayor número de meses con un porcentaje de abastecimiento de agua lluvia mayor al 50% de la demanda.

Para calcular el agua lluvia disponible de cada mes se tiene en cuenta que en algunos períodos el agua de captación será mayor que la demanda y que este volumen extra puede ser utilizado en períodos más secos (Ecuación 5), este volumen sobrante se calcula como la diferencia entre el volumen disponible de agua lluvia y el volumen de agua lluvia gastado para abastecer la demanda del mismo mes (Ecuación 6).

Ecuación 5 Agua lluvia sobrante del mes

$$\text{Agua lluvia sobrante mes}_i = \text{Agua lluvia disponible mes}_i - \text{Abastecimiento de agua lluvia mes}_i$$

Ecuación 6 Agua lluvia disponible mensual

$$\text{Agua lluvia disponible mes}_i = \text{Agua lluvia captada mes}_i - \text{Agua lluvia sobrante mes}_{i-1}$$

Tabla 23 Verificación de la oferta de techos elegidos Empresa manufacturera de embragues

	Mes	AGUA LLUVIA CAPTADA (m3)	AGUA LLUVIA DISPONIBLE (m3)	DEMANDA (m3)	ABASTECIMIENTO DE AGUA LLUVIA (m3)	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE (m3)	AGUA LLUVIA SOBRANTE (m3)	% ABASTECIMIENTO AGUA LLUVIA	% ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE	VOLUMEN DEL TANQUE NECESARIO
AÑO 1	ENERO	3,89	3,89	86,59	3,89	82,69	0,00	4%	96%	150,00
	FEBRERO	21,35	21,35	70,09	21,35	48,74	0,00	30%	70%	
	MARZO	76,07	76,07	70,09	70,09	0,00	5,98	100%	0%	
	ABRIL	73,83	79,81	70,09	70,09	0,00	9,73	100%	0%	
	MAYO	146,24	150,00	70,09	70,09	0,00	79,91	100%	0%	
	JUNIO	59,44	139,36	70,09	70,09	0,00	69,27	100%	0%	
	JULIO	29,25	98,52	86,59	86,59	0,00	11,93	100%	0%	
	AGOSTO	21,70	33,63	70,09	33,63	36,45	0,00	48%	52%	
	SEPTIEMBRE	58,50	58,50	70,09	58,50	11,59	0,00	83%	17%	
	OCTUBRE	144,36	144,36	70,09	70,09	0,00	74,27	100%	0%	
	NOVIEMBRE	86,92	150,00	70,09	70,09	0,00	79,91	100%	0%	
	DICIEMBRE	61,21	141,12	70,09	70,09	0,00	71,04	100%	0%	
AÑO 2	ENERO	3,89	74,93	86,59	74,93	11,65	0,00	87%	13%	150,00
	FEBRERO	21,35	21,35	70,09	21,35	48,74	0,00	30%	70%	
	MARZO	76,07	76,07	70,09	70,09	0,00	5,98	100%	0%	
	ABRIL	73,83	79,81	70,09	70,09	0,00	9,73	100%	0%	
	MAYO	146,24	150,00	70,09	70,09	0,00	79,91	100%	0%	
	JUNIO	59,44	139,36	70,09	70,09	0,00	69,27	100%	0%	
	JULIO	29,25	98,52	86,59	86,59	0,00	11,93	100%	0%	
	AGOSTO	21,70	33,63	70,09	33,63	36,45	0,00	48%	52%	
	SEPTIEMBRE	58,50	58,50	70,09	58,50	11,59	0,00	83%	17%	
	OCTUBRE	144,36	144,36	70,09	70,09	0,00	74,27	100%	0%	
	NOVIEMBRE	86,92	150,00	70,09	70,09	0,00	79,91	100%	0%	
	DICIEMBRE	61,21	141,12	70,09	70,09	0,00	71,04	100%	0%	

La Ilustración 43 muestra el potencial de ahorro de agua potable para cada mes en dos años consecutivos, de color verde se ilustra el porcentaje de agua que será remplazado por agua lluvia y en azul el que debe ser suplido con agua potable.

Con esta verificación se observa que el tanque debe tener una capacidad para almacenar agua lluvia de 138 m³, en este caso se utilizará un tanque con capacidad de 150 m³.

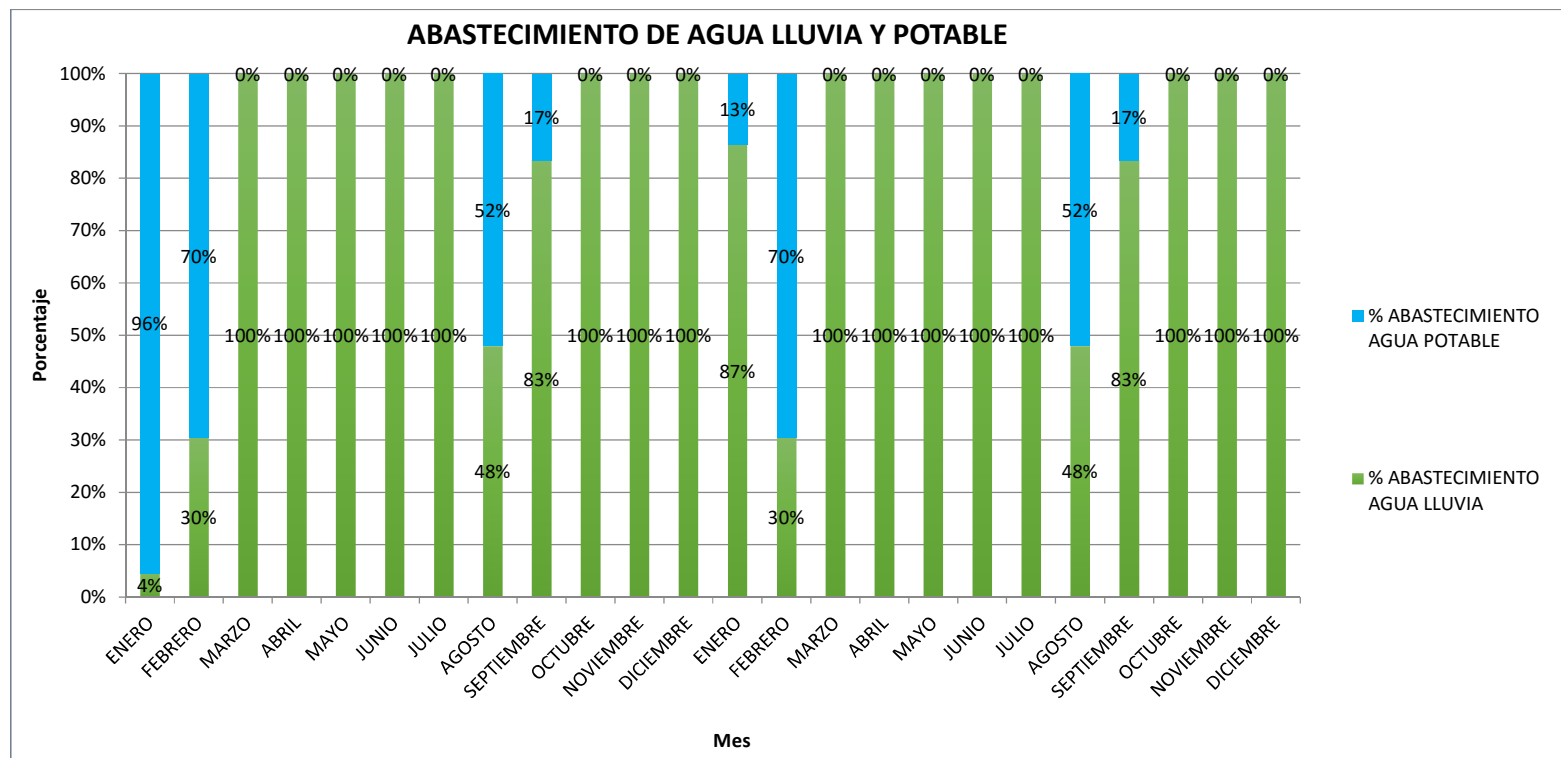


Ilustración 43 Abastecimiento de agua Empresa manufacturera de embragues

Para más detalles ver Anexo 1, hoja “Oferta Vs. Demanda”.

7.1.10 Conexión captación-tanque

7.1.11 Conexión captación-tanque

El sistema de recolección de agua lluvia comprende el conjunto de canaletas y bajantes que se encargan de conducir el agua captada en la cubierta al punto de descarga, ya sea una alcantarilla o un tanque de almacenamiento.

Los bajantes de agua lluvia de los techos elegidos para la captación, descargan el agua lluvia en la zona verde perteneciente a la empresa, tal como se observa en la Ilustración 44, donde se pretende ubicar el tanque de almacenamiento, por lo tanto no es necesario diseñar una red de conexión al tanque, sin embargo se realiza una verificación de las dimensiones necesarias según el Código colombiano de fontanería (NTC 1500)(ICONTEC, 2004).



Ilustración 44 Fotografía bajantes Empresa manufacturera embragues

○ **Verificación de las dimensiones de las canaletas**

Las canaletas están encargadas de la captación y conducción del agua lluvia a cada uno de los bajantes, el flujo de agua lluvia se comporta como un flujo espacialmente variado, ya que el agua se va recolectando en toda la longitud de la canaleta (COLEGIO DE POSTGRADUADOS EN CIENCIAS AGRÍCOLAS, 2007).

Cada canaleta recibe el agua lluvia de un área determinada de techo, las áreas correspondientes a cada canaleta se determinan según la inclinación de los techos, en la Ilustración 46 se muestra la ubicación de las canaletas en color rojo.

La intensidad de precipitación determina las dimensiones necesarias del canal, el código colombiano de fontanería establece que para el dimensionamiento de los desagües pluviales principales de cubiertas, se considera una intensidad de precipitación obtenida a partir de las curvas de intensidad-frecuencia y duración propias de la zona, para un período de retorno mínimo de 15 años y una duración de 30 minutos (ICONTEC, 2004), en la Ilustración 45, se muestran las curvas de intensidad-frecuencia de la estación Olaya Herrera, para diferentes períodos de retorno, en la Tabla 24 se muestran las relaciones

obtenidas de la gráfica, de las cuales se toma para un período de retorno de 25 años y una duración de 30 minutos, una intensidad de precipitación de 84.1 mm/h.

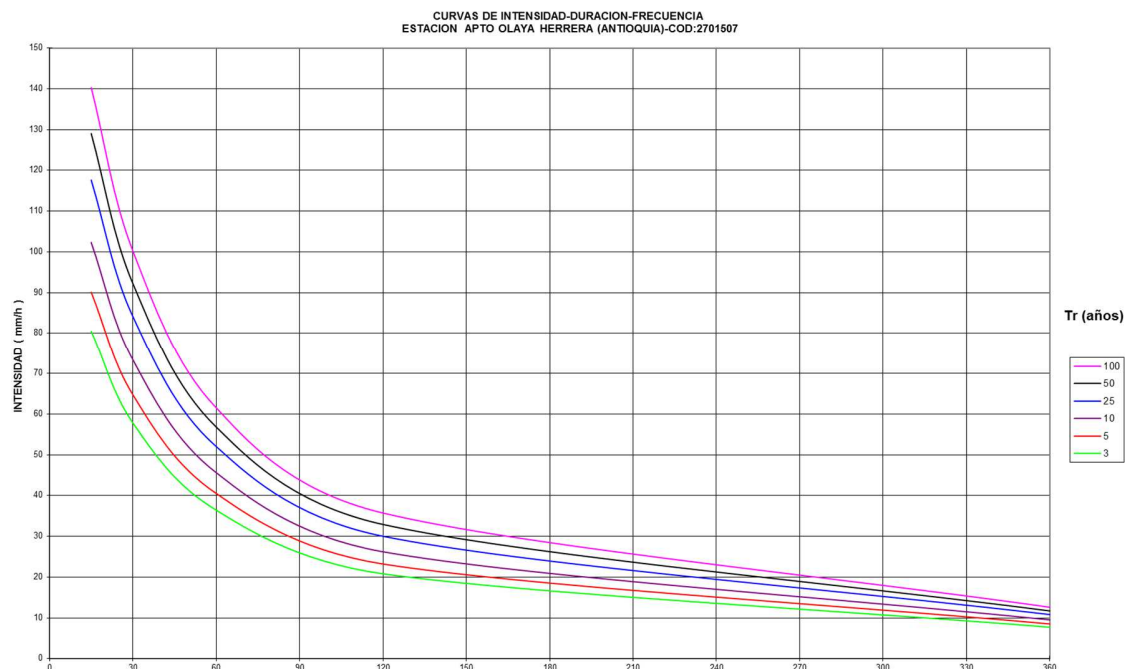


Ilustración 45 Curva IDF Estación Olaya Herrera
Fuente: IDEAM

Tabla 24 Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia Estación Olaya Herrera

DURACIÓN Minutos	PERIODO DE RETORNO, años					
	3	5	10	25	50	100
15	80.5	90.1	102.3	117.6	129.0	140.3
30	57.8	64.7	73.3	84.1	92.2	100.2
60	36.4	40.5	45.6	52.0	56.8	61.5
120	20.8	23.2	26.2	30.0	32.9	35.7
360	7.7	8.5	9.5	10.8	11.7	12.6

En la Tabla 24 se observan las características de cada uno de las canaletas, tales como la longitud, el área aferente de techo correspondiente, la pendiente del canal, las dimensiones de la sección y la intensidad de precipitación máxima, según los datos de precipitación obtenidos por el IDEAM.

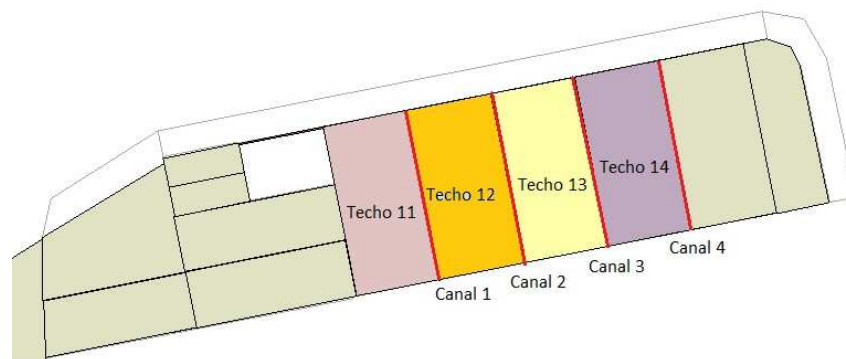


Ilustración 46 Esquema de ubicación canaletas Empresa manufacturera de embragues

Tabla 25 Características canaleta Empresa manufacturera de embragues

Canaleta	Longitud (m)	Techos correspondientes	Área aferente total (m ²)	Pendiente %	Ancho canal (mm)	Alto canal (mm)	Intensidad de precipitación (mm/h)
1	25.00	11	296.5310	1%	200.00	100.00	84.1
2	25.00	12	296.5310	1%	200.00	100.00	84.1
3	25.00	13	296.5310	1%	200.00	100.00	84.1
4	25.00	14	296.5310	1%	200.00	100.00	84.1

En la Tabla 26 se muestran las dimensiones mínimas permitidas para la sección del canal, según el código colombiano de fontanería (ICONTEC, 2004).

Tabla 26 Dimensiones sección de canaleta Código colombiano de fontanería

Dimensiones de canales exteriores en fachadas					
Diámetro del canal (mm)	Máximas áreas permitidas (m2) de cubierta proyectada horizontal para diferentes precipitaciones (mm/h)				
Pendiente del 0.5%	51	76	102	127	152
76	31.6	21	15.8	12.6	10.5
102	66.9	44.6	33.4	26.8	22.3
127	116.1	77.5	58.1	46.5	38.7
152	178.4	119.1	89.2	71.4	59.5
178	256.4	170.9	128.2	102.2	85.3
203	369.7	246.7	184.9	184.9	123.1
254	668.9	445.9	334.4	334.4	223
Pendiente del 1.0%	51	76	102	127	152
76	44.6	29.7	22.3	17.8	14.9
102	94.8	63.3	47.4	37.9	31.6
127	163.5	108.9	81.8	65.4	54.5
152	252.7	168.6	126.3	100.8	84.1
178	362.3	241.5	181.2	144.9	120.8
203	250.2	347.5	260.1	208.1	173.7
254	947.6	631.7	473.8	379	315.9
Pendiente del 2.1%	51	76	102	127	152
76	63.2	42.2	31.6	25.3	21
102	133.8	89.2	66.9	53.5	44.6
127	232.3	155	116.1	92.9	77.5
152	356.7	237.8	178.4	142.7	118.9
178	512.8	341.9	256.4	204.9	170.9
203	739.5	493.3	369.7	295.4	246.7
254	1338	891.8	668.9	534.2	445.9
Pendiente del 4.2%	51	76	102	127	152
76	89.2	59.5	44.6	35.7	29.7
102	189.5	126.3	94.8	75.8	63.2
127	328.9	219.2	164.4	131.5	109.6

Dimensiones de canales exteriores en fachadas					
Diámetro del canal (mm)	Máximas áreas permitidas (m ²) de cubierta proyectada horizontal para diferentes precipitaciones (mm/h)				
152	514.7	343.3	257.3	206.2	171.9
178	724.6	483.1	362.3	289.9	241.4
203	1040.5	693	520.2	416.2	346.5
254	1858	1238.4	929	743.2	618.7

Para una pendiente del canal del 1%, una precipitación menor a 102 mm/h y un área de techo aferente menor a 473.8 m², se tiene un diámetro de canal equivalente de 254 mm.

Para obtener las dimensiones equivalentes de un canal rectangular se tiene que (Ecuación 7):

Ecuación 7 Diámetro equivalente

$$De = \sqrt{(ancho \times alto)}$$

Para obtener la sección más óptima de drenaje, es decir la sección donde se maximice el radio hidráulico, el ancho debe ser el doble del alto:

Ecuación 8 Dimensión sección óptima

$$Ancho = 2 \times Alto$$

Reemplazando la Ecuación 8 en la Ecuación 7 obtenemos la Ecuación 9

Ecuación 9 Diámetro equivalente - sección óptima

$$De = \sqrt{2} \text{ ancho}$$

Despejando para un diámetro equivalente obtenido de 254 mm, se tiene que el ancho mínimo del canal debe ser de 180 mm; con lo que se concluye que el ancho actual del canal de 200 mm es adecuado.

○ **Verificación de las dimensiones de los bajantes**

Un bajante pluvial es la tubería vertical que recoge el agua proveniente de las canaletas de techo, y la conduce hacia la zona de descargue.

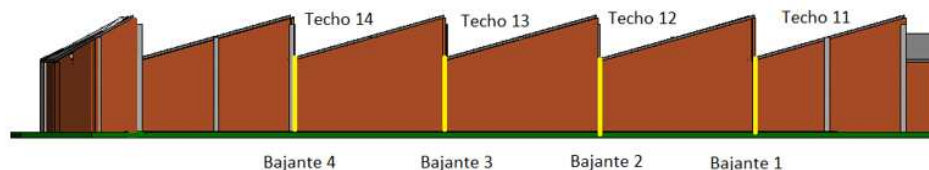


Ilustración 47 Bajantes empresa manufacturera de embragues

En la Ilustración 47 se representan esquemáticamente los bajantes correspondientes a los techos elegidos para la captación de color amarillo, y en la Tabla 27 sus características, tales como dimensiones de longitud, diámetro y la intensidad de precipitación máxima de la zona.

Tabla 27 Características bajantes Empresa manufacturera de embragues

Bajante	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Intensidad de precipitación (mm/h)	Área aferente de techo (m ²)
1	6.000	101.6	84.100	296.531
2	6.000	101.6	84.100	296.531
3	6.000	101.6	84.100	296.531
4	6.000	101.6	84.100	296.531

En la Tabla 28 se muestran las dimensiones mínimas permitidas para el diámetro, según el código colombiano de fontanería (ICONTEC, 2004).

Tabla 28 Dimensión tubería vertical-bajante-Código colombiano de fontanería

Diámetro del tubo de bajada (mm) ^a	Caudal máximo L/s	Área de techo proyectada horizontalmente (m ²)					
		Tasa de precipitación (mm/h)					
		25	50	75	100	125	150
75	4.2	600	300	200	150	120	100
100	9.1	1286	643	429	321	257	214
125	16.5	2334	1117	778	583	467	389
150	26.8	3790	1895	1263	948	758	632
200	57.6	8175	4088	2725	2044	1635	1363

Según la Tabla 28 para una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h y un área de techo aferente menor a 321 m², el diámetro del bajante debe ser de mínimo 100 mm, por lo cual se concluye que el diámetro de 4" que tienen actualmente los bajantes es adecuado y cumple con los requerimientos del código colombiano de fontanería.

Para más detalles ver Anexo 1, hoja "Canaletas" y "Bajantes".

7.1.12 Tanque de filtración y almacenamiento

El tanque de almacenamiento se compone de módulos, los cuales pueden ser sencillos, dobles, triples, cuádruples y quíntuples, en la parte superior del tanque de almacenamiento y junto a los bajantes, se instalan un número de filas de celdas de drenaje de 52 mm de altura, para determinar la cantidad y tipo de módulos y celdas de drenaje se debe tener en cuenta el nivel freático del terreno, éste se determina mediante un estudio de suelos de la zona, para este caso la Empresa manufacturera de embragues está ubicada en el sector de Guayabal por lo cual se obtuvieron los resultados del estudio de suelos realizado para la construcción del Intercambio Vial Gilberto Echeverri Mejía, aledaño a la empresa.

○ Estudio de suelos:

Para determinar la profundidad a la cual puede llegar el tanque de almacenamiento es necesario determinar a qué profundidad se encuentra el nivel freático del suelo, en el estudio se encontró el nivel freático entre los 3 m y 6 m de profundidad en cuatro perforaciones (EDL Ltda Ingenieros consultores, 2010).

○ Dimensionamiento de los módulos:

Para calcular el número de elementos necesarios para un tanque de 150 m³ se utilizan los datos tomados de la ficha técnica de Módulos Flow-Tank, datos como área en planta y volumen de almacenamiento y se hallan con la Ecuación 10:

Ecuación 10 Elementos necesarios

$$\text{Elementos necesarios} = \frac{\text{Volúmen necesario}}{\text{Volúmen de almacenamiento}}$$

El área total ocupada en planta por módulos depende del número de elementos necesarios previamente hallados y se calcula con la Ecuación 11:

Ecuación 11 Área ocupada en planta por módulos

$$\text{Área ocupada en planta por módulos} = \text{Elementos necesarios} \times \text{Área en planta}$$

Para calcular el área total ocupada por los módulos y la zanja de excavación, se utiliza la Ecuación 12 y así según el resultado se elige el tipo de módulo apto para el área disponible que se tiene en la empresa:

Ecuación 12 Área aproximada en planta por módulos y zanja de excavación

$$\begin{aligned} \text{Área aproximada en planta por módulos y zanja de excavación} \\ = (\sqrt{\text{Área ocupada en planta por módulos} + 0,3})^2 \end{aligned}$$

En la Tabla 29 y la Ilustración 48, se observan las dimensiones de los módulos sencillo y doble (Aquatectura, 2010). Se debe hacer una verificación previa para escoger el tipo de módulo, teniendo en cuenta que se debe hacer un lleno bajo de la superficie del tanque y un lleno sobre los módulos y las celdas, cada uno de espesor 30 cm. En la Tabla 30 se observan las dimensiones de la celda de drenaje para continuar con los cálculos.

Tabla 29 Dimensiones módulos Flow-Tank

Dimensiones módulo (mm)		
	Flow-Tank Sencillo	Flow-Tank Doble
Ancho	408	408
Largo	680	680
Alto	450	880

Fuente: Ficha técnica Tanques Flow-Tank

Tabla 30 Dimensiones celda de drenaje

Dimensiones celda de drenaje	
Largo (m)	0,48
Ancho (m)	0,26
Alto (m)	0,05
Volumen de celda (m3)	0,01

Fuente: Ficha técnica Tanques Flow-Tank

DETALLE CELDA DE DRENAJE ATLANTIS

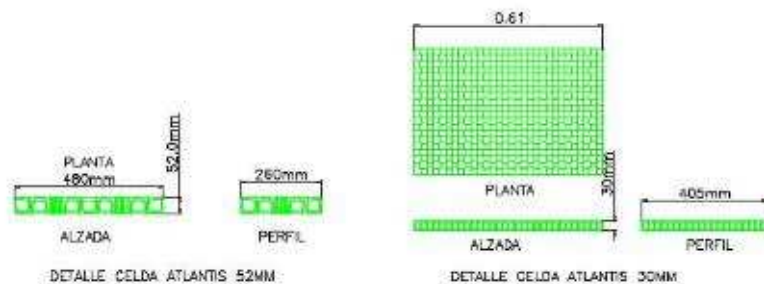


Ilustración 48 Detalle celda de drenaje

A continuación con la Ecuación 13 se hace una verificación de que la profundidad de excavación sea menor al nivel freático de la zona: Ecuación 13 Profundidad de excavación

$$\text{Profundidad de excavación} = (0,3 \times 2) + \text{Alto módulo} + \text{Alto Celda de drenaje}$$

$$\text{Profundidad de excavación} < \text{Nivel freático}$$

Verificación para Flow-Tank Doble:

$$\textit{Profundidad de excavación (m)} = (0,3 \times 2) + 0,88 + 0,052 = 1,53$$

$$1,53 \text{ m} < 3 \text{ m}$$

El resultado de las ecuaciones anteriores se encuentran en la Tabla 31, allí se observa el total de m² necesarios en planta y zanja de excavación.

Tabla 31 Cálculo de cantidad de módulos Flowtank Empresa Manufacturera de Embragues

VOLUMEN NECESARIO [M3]					150
ELEMENTO	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO [M3]	ÁREA EN PLANTA [M2]	ELEMENTOS NECESARIOS [UND]	ÁREA OCUPADA EN PLANTA POR MODULOS [M2]	ÁREA APROXIMADA EN PLANTA POR MODULOS Y ZANJA DE EXCAVACIÓN [M2]
Flow-Tank Single	0,12	0,28	1250	349,35	360,65
Flow-Tank Double	0,23	0,28	653	182,50	190,70

NOTAS

La zanja de excavación en planta representa 30 cm a cada lado de los módulos

Al haber sido elegido el módulo doble para construir el tanque, se debe continuar con los cálculos de las dimensiones del tanque y las dimensiones de excavación necesarias. En la Tabla 32 se encuentran las dimensiones de los módulos dobles (Ilustración 49) al igual que su capacidad para almacenar agua y en la Tabla 33 se muestran las dimensiones del área verde disponible en la empresa para construir el tanque.

Tabla 32 Dimensiones módulo doble

Dimensiones módulo doble (m)	
Largo del módulo	0,69
Ancho del módulo	0,41
Altura del módulo	0,88
Volumen por módulo (m ³)	0,25
Capacidad para almacenar agua por módulo (m ³)	0,23

Fuente: Ficha técnica Tanques Flow-Tank

DETALLE MÓDULO DOBLE

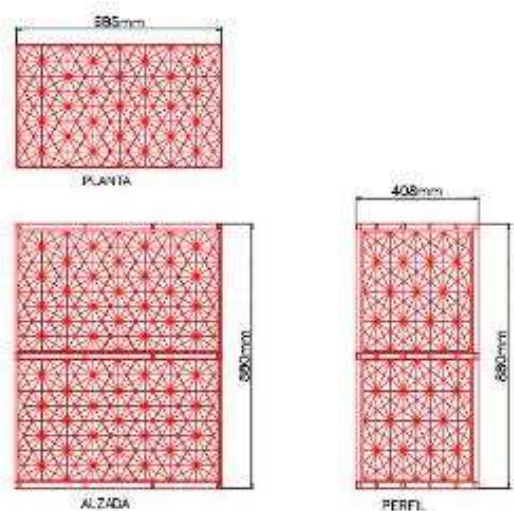


Ilustración 49 Detalle módulo doble

Tabla 33 Dimensiones área verde disponible

Dimensiones área verde disponible (m)	
Largo disponible	85,89
Ancho disponible	4,00

A continuación, en la Tabla 34, se muestran los cálculos necesarios para determinar cuántos módulos son necesarios para un tanque de capacidad de 150 m³.

Tabla 34 Cálculo de módulos en el tanque

Cálculo de módulos en el tanque	
Relleno perímetro (m)	0,6
Número de módulos a lo ancho	8
Número de módulos a lo largo	82
Número de módulos a lo alto	1
Número total de módulos	656
Volumen total módulos (m3)	164

Cuando ya se tiene el número de módulos, se procede a calcular las dimensiones del tanque, como se observa en la Tabla 35:

Tabla 35 Dimensiones tanque

Dimensiones tanque (m)	
Largo del tanque	56,17
Ancho del tanque	3,264
Profundidad tanque	0,88

Este tanque tiene un volumen de 161,34 m³ así que, teniendo en cuenta el espesor del relleno del perímetro, en la Tabla 36 se calculan las dimensiones del volumen de excavación necesario.

Tabla 36 Cálculo dimensiones excavación

Cálculo dimensiones excavación	
Largo de excavación (m)	56,77
Ancho de excavación (m)	3,864
Área en planta de excavación (m ²)	219,36
Profundidad de excavación (m)	1,532
Volumen de excavación (m ³)	336,06

Por último en la Tabla 37, con todos los cálculos anteriores, se verifica que la capacidad completa del almacenar agua sea de 150 m³ y se calcula el volumen total del lleno que es necesario.

Tabla 37 Cálculo volúmenes finales

Cálculo volúmenes finales	
Volumen de agua neto (m ³)	150,88
Volumen del lleno (m ³)	172,06

Encima del tanque de almacenamiento, se ubican las celdas de drenaje, en este caso serán 4 filas de celdas y en la Tabla 38 se muestran las dimensiones y las cantidades necesarias.

Tabla 38 Cantidad celdas de drenaje

Cantidad celdas de drenaje (m)	
Número de celdas a lo ancho	4
Número de celdas a lo largo	117
Ancho total	1,04
Largo total	56,17
Área superficial total	58,42
Número total celdas	468

El siguiente paso es el cálculo de la cantidad de geotextil requerido para cubrir el tanque, la zona de excavación y las celdas de drenaje, para el primero y el segundo se utilizan la Ecuación 14 y Ecuación 15 respectivamente y para las celdas de drenaje no es necesario calcular ya que éste solo cubre el área superficial y el dato se halló en la tabla anterior.

Ecuación 14 Geotextil módulos

Geotextil módulos

$$\begin{aligned} &= (\text{Número de módulos a lo ancho} \times \text{Número de módulos a lo largo} \\ &\times \text{Ancho del módulo} \times \text{Largo del módulo}) \times 2 \\ &+ (\text{Número de módulos a lo ancho} \times \text{Ancho del módulo} \times 2 \\ &+ \text{Número de módulos a lo largo} \times \text{Largo del módulo} \times 2) \\ &\times \text{Número de módulos a lo alto} \times \text{Altura del módulo} \times 1,1 \end{aligned}$$

Ecuación 15 Geotextil excavación

Geotextil excavación

$$\begin{aligned} &= ((\text{Ancho de excavación} \times \text{Largo de excavación}) + (\text{Ancho de excavación} \\ &+ \text{Largo de excavación}) \times 2 \times \text{Profundidad de excavación}) \times 1,1 \end{aligned}$$

En la Tabla 39 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 39 Cálculos geotextil

Cálculos geotextil (m ²)	
Geotextil módulos	518,41
Geotextil excavación	445,66
Geotextil celdas	58,42

Los últimos cálculos, mostrados en la Tabla 40 consisten en hallar la cantidad total de lleno (que se encuentra restando entre el volumen de la zanja de excavación y el volumen que ocupan todos los módulos);y el área de membrana PVC para la que se utiliza la Ecuación 16:

Ecuación 16 Membrana PVC

Membrana PVC

$$\begin{aligned} &= [(\text{Largo excavación} \times \text{Ancho excavación} \times 2) \\ &+ (\text{Largo excavación} \times \text{Profundidad excavación} \times 2) \\ &+ (\text{Ancho excavación} \times \text{Profundidad excavación} \times 2)] \\ &+ [\text{Longitud tubo de inspección} \times \text{Diámetro tubo inspección} \times \pi] \end{aligned}$$

Tabla 40 Cálculos finales

Cálculos finales	
Lleno de celdas (m ³)	2,73
Membrana PVC (m ²)	625

El tubo de inspección a instalar es de 6 pulgadas de diámetro y de una longitud de 40 cm.

En la Ilustración 50 se observa la vista superior del diseño del tanque para esta empresa y en la Ilustración 51 la vista lateral.

VISTA EN PLANTA DRENAJE SOSTENIBLE

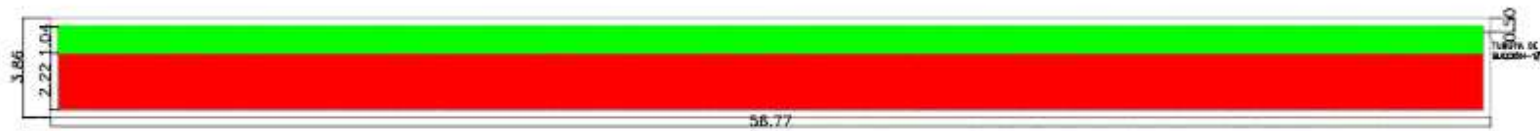


Ilustración 50 Vista en planta Drenaje sostenible Empresa manufacturera de embragues

VISTA LATERAL DRENAJE SOSTENIBLE

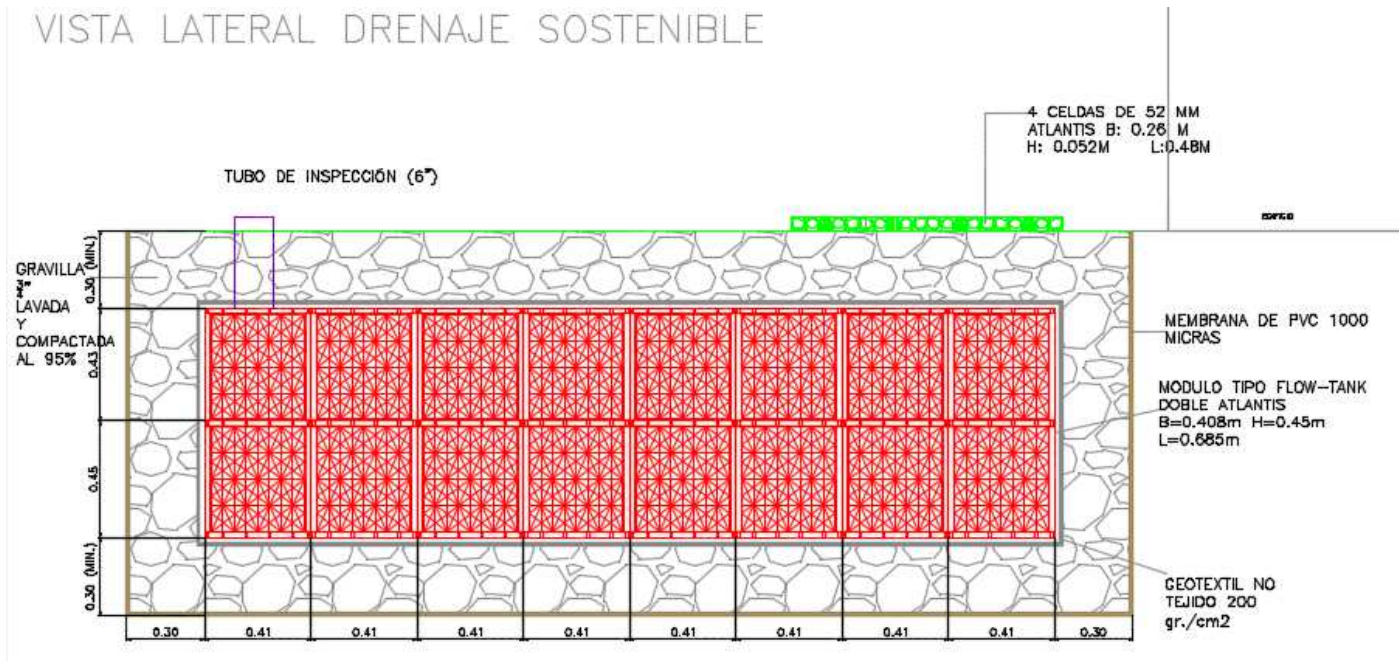


Ilustración 51 Vista lateral Drenaje sostenible Empresa manufacturera de embragues

Para más detalles ver Anexo 1, hoja “Módulos Flow-Tank”.

7.1.13 Red de distribución de agua lluvia a los procesos y sistema de bombeo

El tanque de almacenamiento de agua lluvia debe abastecer cada mes a la torre de enfriamiento y a la planta de limpieza, el tanque de temple es abastecido por la torre de enfriamiento en un ciclo de recirculación de agua, por lo cual la cantidad de agua necesaria de ambos procesos (temple y enfriamiento) será conducida solo hasta la torre de enfriamiento, la ubicación de estos en la planta se muestra en la Ilustración 52.

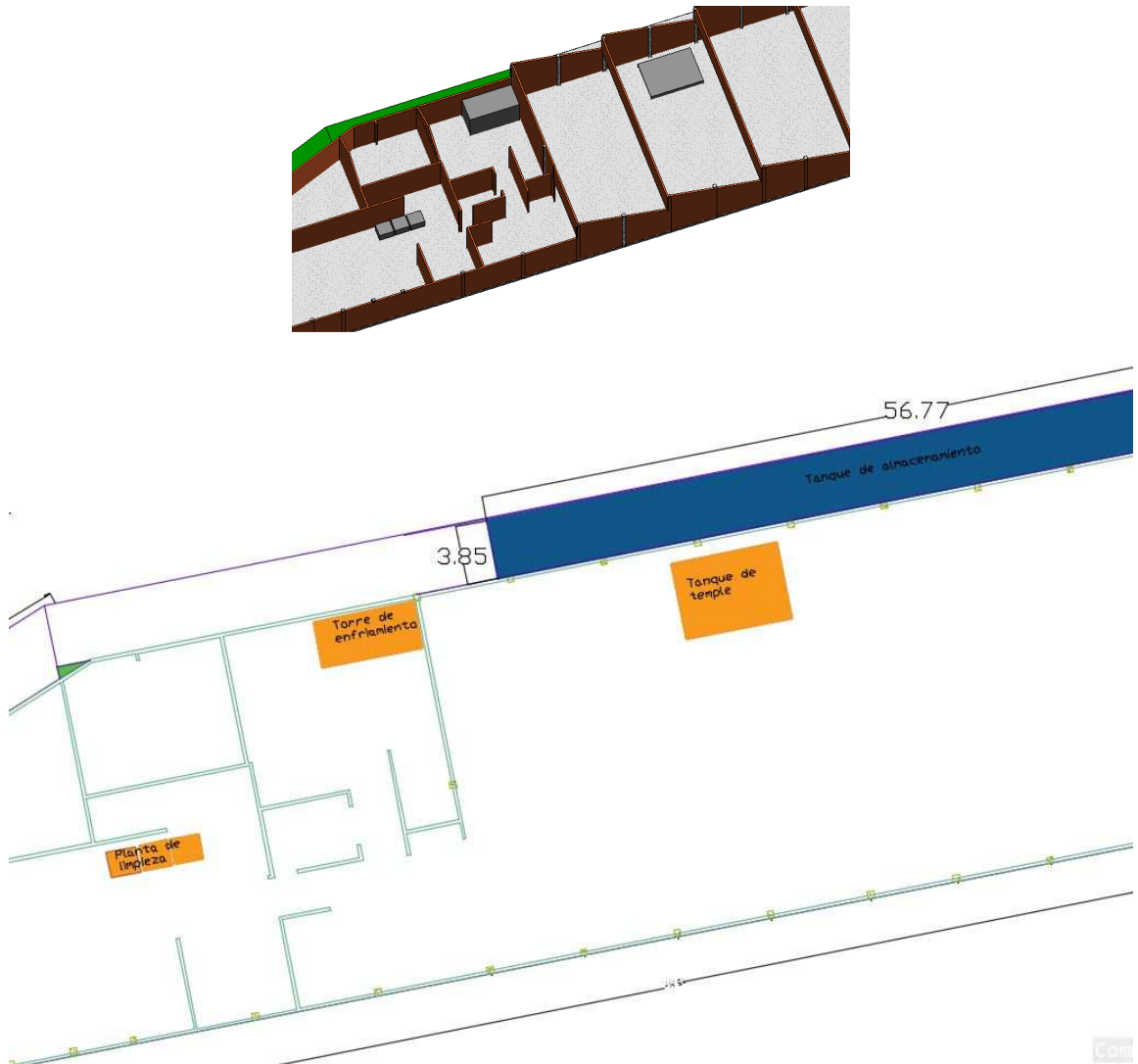


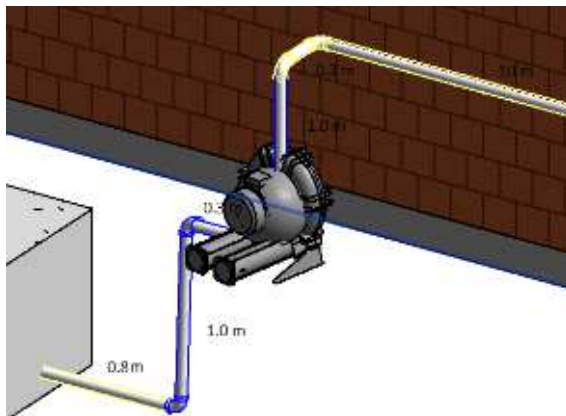
Ilustración 52 Esquema procesos Empresa manufacturera de embragues

El volumen de agua a conducir a los dos procesos es de 87 m³, tal como se muestra en la Tabla 41.

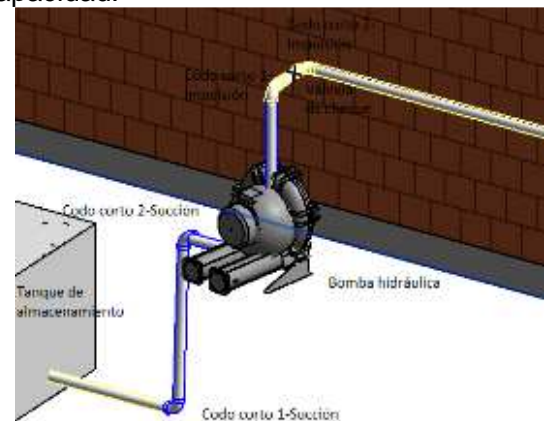
Tabla 41 Volumen de agua a conducir por proceso Empresa manufacturera de embragues

Proceso	Volumen de agua a abastecer (m ³)
Torre de enfriamiento	84
Tanque de temple	
Planta de limpieza	3
Total	87

Tratando de minimizar al máximo la longitud de la red, y el número de piezas utilizadas se realiza el trazado de la red, al tener el tanque de almacenamiento enterrado se debe bombear el agua del tanque, en la Ilustración 53 se observa el primer tramo de sección de la red, donde se ubican las tuberías de succión, la bomba y las tuberías del tramo de impulsión, luego de la bomba debe instalarse una válvula de cheque o de retención, la cual evita el contraflujo de agua hacia la bomba (Ilustración 54), permitiendo el flujo en un solo sentido y evitando daños en el equipo (GiS, 2015); el siguiente tramo de tubería se muestra en la Ilustración 55, donde la red toma una mayor altura para abastecer por la parte superior a la torre de enfriamiento a una altura de 2 metros; en la Ilustración 56 la red ingresa a la planta, para su instalación se deben canchar algunos de los muros, los cuales no son estructurales, la red finaliza con la conducción del agua a los tres tanques de la planta de limpieza, cada uno de 1 m³ de capacidad.



*Ilustración 53 Sección 1 Red de distribución
Empresa manufacturera de embragues-
Longitudes*



*Ilustración 54 Sección 1 Red de distribución
Empresa manufacturera de embragues-
Accesorios*

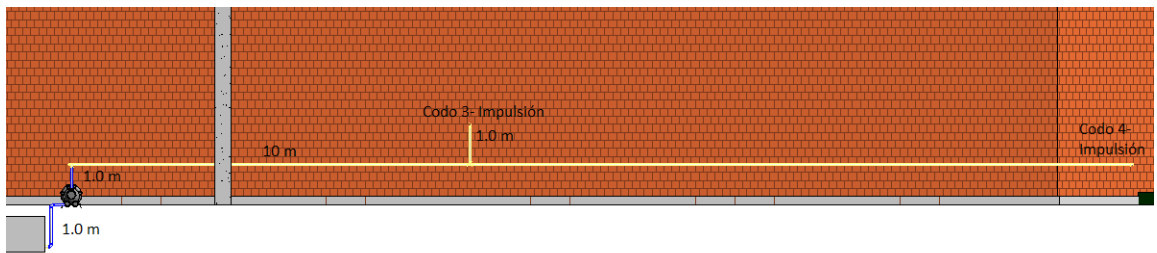


Ilustración 55 Sección 2 Red de distribución Empresa manufacturera de embragues-Vista lateral exterior



Ilustración 56 Sección 3 Red de distribución- Empresa manufacturera de embragues

Para poder abastecer cada proceso con el volumen requerido, y tener un control en la cantidad que se desea conducir, se instalan válvulas tipo mariposa al llegar a cada tanque, tanto en los de la planta de limpieza como la torre de enfriamiento, estas permiten abrir y cerrar el flujo de agua lluvia cuando se requiera, en la Ilustración 57 se muestra el detalle de la conducción a planta de limpieza con las tres válvulas de regulación y en la Ilustración 58 la llegada del agua lluvia a la torre de enfriamiento .

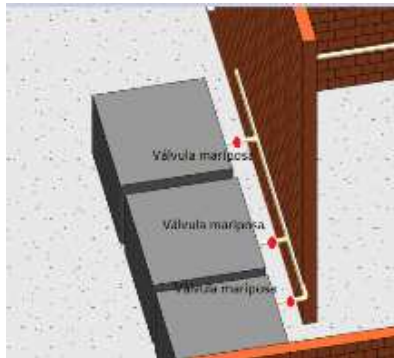


Ilustración 57 Detalle Red de distribución a planta de limpieza

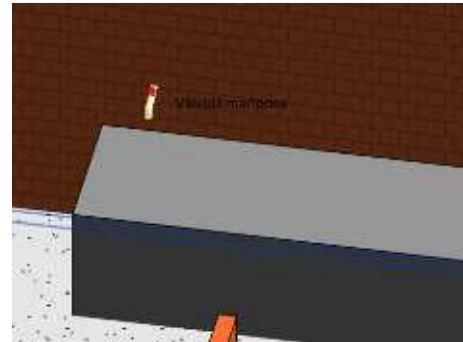


Ilustración 58 Detalle Red de distribución a torre de enfriamiento

Se realiza el dimensionamiento inicial de las tuberías, asignando diámetros a las tuberías para proceder a realizar el diseño de los componentes hidráulicos necesarios para abastecer el sistema; el componente principal para realizar la impulsión es la bomba que permitirá una presión constante en el sistema, al realizar el proceso de cálculo y determinar el tipo de bomba hidráulica necesaria se verifican los diámetros comerciales que permite la bomba y se verifica de nuevo el resultado con estos diámetros en los tramos de conexión a la bomba e instalando uniones de transición si es necesario.

El diámetro propuesto para la tubería de impulsión y succión se muestra en Tabla 42.

Tabla 42 Diámetros Red de distribución Empresa manufacturera de embragues

Dimensiones tuberías	Ø (pulgadas)	Ø (m)
Diámetro tubería impulsión	2	0.0508
Diámetro tubería succión	2	0.0508

El diseño del sistema pretende calcular la energía necesaria para conducir el agua hasta la torre de enfriamiento y la planta de limpieza, esta energía (presión) necesaria se calcula según la Ecuación 17.

Ecuación 17 Energía requerida para la bomba hidráulica

$$H_{Bomba} = \Delta_z + H_{L-impulsión} + H_{F-impulsión} + H_{succión}$$

Donde:

Δ_z = es la diferencia entre la cota inferior de la red y la altura superior de la red, en este caso es de 2.3 m para el recorrido a la torre de enfriamiento y 1.3 m para el recorrido a la planta de limpieza.

$H_{L-impulsión}$ = pérdidas locales

$H_{F-impulsi3n}$ = p3rdidas de fricci3n por longitud de tubería

$H_{succi3n}$ = p3rdidas por succi3n, para un sistema hidroneumático se recomienda tomar como m3nimo 3m.

Para calcular las p3rdidas primero debe saberse el caudal que fluirá por las tuberías, este se determina seg3n la Ecuaci3n 18 y la Ecuaci3n 19.

Ecuaci3n 18 Ecuaci3n de continuidad 1

$$Q = \text{Velocidad} \times \text{Área}$$

Ecuaci3n 19 Ecuaci3n de continuidad 2

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Para realizar los cálculos se debe fijar una velocidad máxima permitida, se recomienda un máximo de 1.5 m/s (Talleres Barinas, 2015), con esto se procede a hallar el caudal y el tiempo de llenado (Tabla 43).

Tabla 43 Caudal y tiempo de llenado Red de distribuci3n Empresa manufacturera de embragues

A (m2)	V recomendada (m/s)	Q (m³/s)	Q (m³/h)	Tiempo de llenado (h)
0.0020	1.5	0.0030	10.9449	7,95

Ecuaci3n 20 Ecuaci3n de Hazen-Williams

$$H_F = L \frac{10.67 Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

Donde:

C= Coeficiente de fricci3n (Para PVC=140)

En la Tabla 44 y en la Tabla 45 se calcula la sumatoria de las longitudes de tramos de tubería que conforman cada una de las rutas, la bomba hidráulica propuesta tiene un diámetro para la succi3n de 1 ¼ “ y un diámetro para la impulsión de 1”, por lo cual se mantiene el diámetro de la succi3n de 1 ¼” y se instala una uni3n de transici3n de 1” a 2” para la impulsión ubicado luego de la válvula de cheque , en la Tabla 46 se calculan las p3rdidas por fricci3n utilizando la Ecuaci3n 20.

Tabla 44 Longitud de tuberías recorrido Torre de enfriamiento-Empresa manufacturera de embragues

Tuberías recorrido a Torre de enfriamiento		
Tubería	Ø (m)	Longitud (m)
4	0.051	1.00

Tuberías recorrido a Torre de enfriamiento		
Tubería	Ø (m)	Longitud (m)
5	0.051	0.30
6	0.051	10.00
7	0.051	1.00
8	0.051	0.70
Longitud total (m)		13.00

Tabla 45 Longitud de tuberías recorrido Planta de limpieza-Empresa manufacturera de embragues

Tuberías recorrido a Planta de limpieza		
Tubería	Ø (m)	Longitud (m)
4	0.051	1.00
5	0.051	0.30
6	0.051	10.00
9	0.051	17.00
10	0.051	11.50
11	0.051	5.00
14	0.051	0.50
Longitud total (m)		45.30

Tabla 46 Pérdidas por fricción -Empresa manufacturera de embragues

Recorrido a torre de enfriamiento	
L (m)	13.00
J	0.051
Hf (m)	0.657
Recorrido a planta de limpieza	
L (m)	45.30
J	0.051
Hf (m)	2.290

Las pérdidas locales generadas por los accesorios y piezas de la red, tales como válvulas, reducciones y codos, pueden calcularse con la Ecuación 21 (Ministerio de Desarrollo Economico, 2000)

Ecuación 21 Pérdidas locales

$$H_L = \sum K \frac{V^2}{2g} = \sum K \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4}$$

Donde:

K= Coeficiente de pérdidas menores para accesorios comunes (Tabla 47).

Tabla 47 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes

Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes	
Accesorio	K _m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula de mariposa, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Codo de radio corto	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de gran radio	0.6
Codo de 45°	0.4
Tee, en sentido recto	0.3
Tee, a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Y de 45°, en sentido recto	0.3
Y de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo entrante	0.9
Salida	1.0

Fuente: RAS 2000

Se determinan las pérdidas locales para las dos rutas de conducción, según el número y tipo de accesorio, en la Tabla 48 para la ruta hacia la torre de enfriamiento y en la Tabla 48 para la planta de limpieza.

Tabla 48 Sumatoria de coeficiente de pérdidas locales Empresa manufacturera de embragues-Torre de enfriamiento

Accesorios recorrido Torre de enfriamiento	Cantidad	K	K total
Codos cortos (90°)	4	0.9	3.6
Tee, en sentido recto	1	0.3	0.3
Válvula cheque	1	2.5	2.5
Válvula mariposa	1	5	5
Unión	0	0.3	0
Salida	1	1	1
ΣK			12.4

Tabla 49 Sumatoria de coeficiente de pérdidas locales Empresa manufacturera de embragues-Planta de limpieza

Accesorios recorrido Planta de limpieza (el más largo)	Cantidad	K	K total
Codos cortos (90°)	5	0.9	4.5
Tee, en sentido recto	3	0.3	0.9
Válvula cheque	1	2.5	2.5
Unión	0	0.3	0
Válvula mariposa	1	5	5
Salida	1	1	1
ΣK			13.9

Utilizando la Ecuación 21 se determinan las pérdidas locales en la Tabla 50.

Tabla 50 Pérdidas locales Red de distribución Empresa manufacturera de embragues

Pérdidas locales recorrido a Torre de enfriamiento (m)	1.42
Pérdidas locales recorrido a Planta de limpieza (m)	1.6

Con los datos calculados en el anterior procedimiento ya se puede hallar la energía requerida para impulsar el agua lluvia, para cada uno de los recorridos (Tabla 51 y Tabla 52)

Tabla 51- Energía necesaria bomba-Empresa manufacturera de embragues - Torre de enfriamiento

Recorrido a torre de enfriamiento	
Succión (m)	3.00
HL (m)	1.42
Hf (m)	0.66
ΔZ (m)	2.30
HB (m)	7.38

Tabla 52Energía necesaria bomba-Empresa manufacturera de embragues - Planta de limpieza

Recorrido a Planta de limpieza	
Succión (m)	3.00
HL (m)	1.6
Hf (m)	2.29
ΔZ (m)	1.30
HB (m)	8.19

Para determinar la presión mínima de diseño de la bomba hidráulica, se utiliza la Ecuación 22 utilizando el caudal en litros por segundo y la altura en metros.

Ecuación 22 Potencia de la bomba

$$P = \frac{Q * H * \gamma}{n}$$

$$P = \frac{Q \times H_B \times \gamma}{n} = \frac{Q \times H_B \times \gamma}{n} = 0.54 \text{ HP}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s)

H_B= Altura dinámica bomba

γ = Peso específico del fluido

“n”= Eficiencia de la bomba aproximada de 60%

Tabla 53 Potencia de la bomba

Peso específico agua (N/m ³)	9800
Eficiencia de la bomba (n)	0.6
Potencia (KW)	0.41
Potencia (HP)	0.54

La potencia mínima necesaria para la bomba hidráulica es de 0.54 HP, (Tabla 53) por lo cual se decide instalar una bomba de 0.5 HP, para determinar el tipo de bomba se utiliza el catalogo virtual de la empresa Ignacio Gómez IHM SAS, el cual permite ingresar la altura (HB) y el caudal requerido y con estos datos presenta las bombas de su inventario que cumplen con los requisitos (Ignacio Gómez IHM SAS, 2015); las características de la bomba elegida se muestran en la Ilustración 59, y en la curva característica de la bomba hidráulica (Ilustración 60) se verifica que las dos alturas efectivamente cumplan con el caudal requerido dentro de la curva característica, y que el NPSH de la bomba sea mayor que 0.88 m, la altura del tanque desde la cual se quiere bombear el agua.



*Ilustración 59 Bomba hidráulica Empresa manufacturera de embragues
Fuente: Ignacio Gómez IHM SAS*

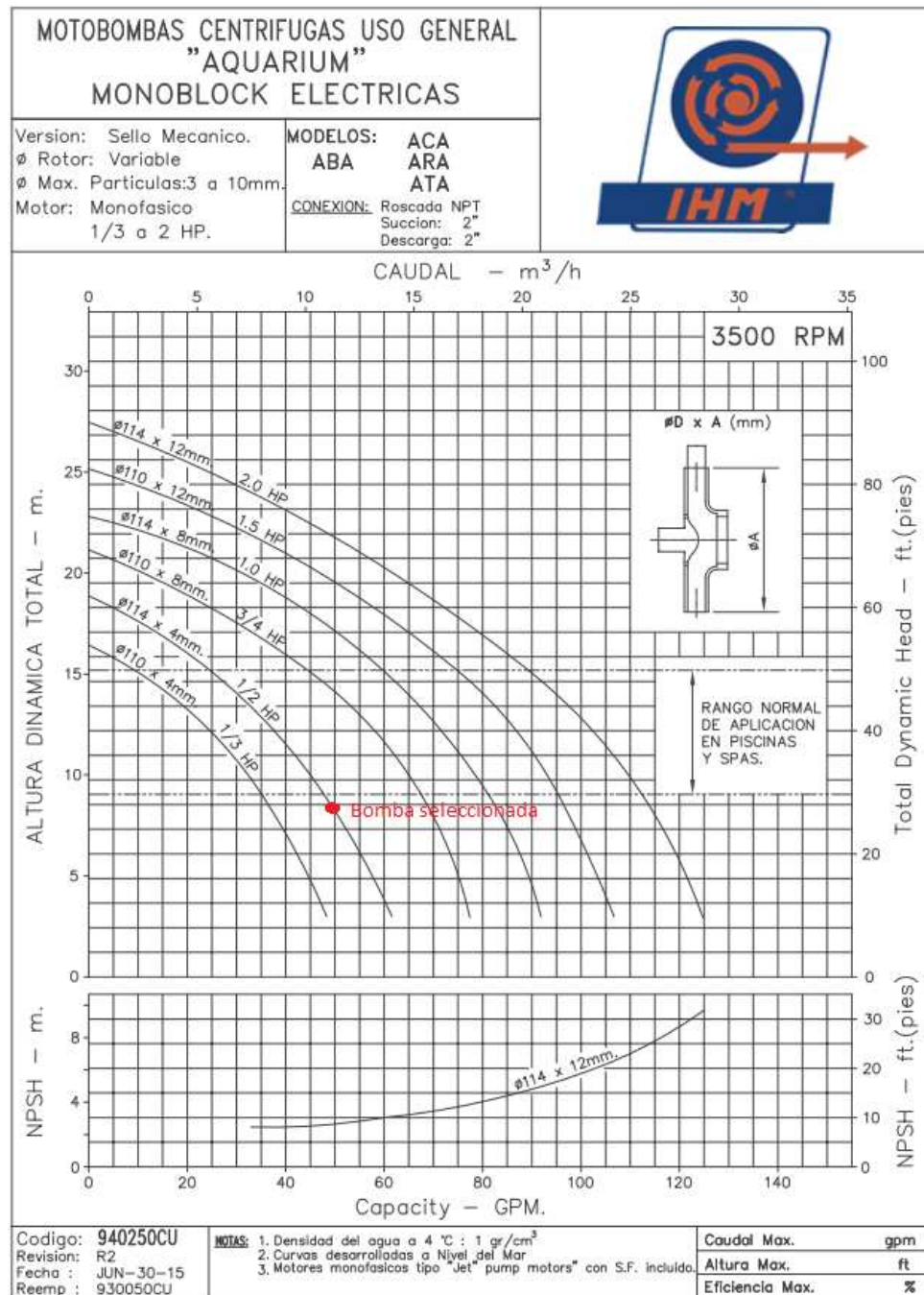


Ilustración 60 Curva característica de la bomba hidráulica Empresa manufacturera de embragues
Fuente: Ignacio Gómez IHM SAS

Para más detalles ver Anexo 1, hoja "Red de distribución".

7.2 EMPRESA PRODUCTORA DE BIENES DE CAUCHO

7.2.1 Descripción de los procesos a abastecer

Torre de enfriamiento

Una torre de enfriamiento es un tipo de intercambiador de calor que busca quitarle el calor a una corriente de agua caliente mediante aire seco y frío que circula por la torre. (Cataluña, n.d.)

En la empresa productora de bienes de caucho la torre de enfriamiento esta ubicada en la cubierta, esta está encargada de abastecer de agua a tres procesos:

- Los molinos mezcladores de materia prima, donde el agua es un ingrediente de la mezcla.
- Las extrusoras de caucho, que sirve de líquido refrigerante del equipo.
- Túnel de enfriamiento de la pasta de caucho

El agua del proceso es de recirculación por lo cual luego de ser utilizada en el proceso retorna a la torre de enfriamiento por medio de bombeo.

Proceso de extrusión del caucho

Procedimiento continuo donde se forman productos como perfiles o tubos, introduciendo un material a través de un orificio llamado hilera. (Capella, 1997)

El proceso inicia al ubicar la materia prima necesaria en el mezclador Banbury en el cual se forma una pasta, que más tarde se pasa por unos rodillos para estirla tal como se muestra en la Ilustración 61; posteriormente se ingresa al túnel de enfriamiento con agua helada donde toma forma y consistencia, luego de enfriarse y aplanarse pasa al proceso de corte donde se forman tiras con un tamaño adecuado para entrar a la extrusora, en la Ilustración 62 se aprecia una pasta de caucho luego del proceso de corte; la pasta cortada continúa para la extrusora donde se modifica dependiendo de las especificaciones, utilizando una boquilla diferente dependiendo de la forma que se requiera, en la Ilustración 63 se muestra una tira de caucho ya extruida; por último esta pasa por el túnel de vulcanización a alta temperatura con el fin de garantizar resistencia, dureza y elasticidad, finalmente se realizan pruebas de laboratorio al material para aprobar sus propiedades y luego llevarlo a la zona de almacenamiento de materia prima y producto terminado.



Ilustración 61 Rodillos aplanadores de pasta



Ilustración 62 Pasta de caucho luego del proceso de corte



Ilustración 63 Producto de caucho extruido Empresa productora de bienes de caucho

El diagrama de resumen del proceso se presenta a continuación en la Ilustración 64.

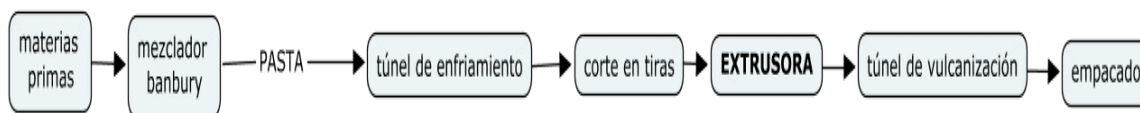


Ilustración 64 Proceso de extrusión del caucho

7.2.2 Cantidad de agua requerida para el abastecimiento de los procesos

La empresa ha registrado mensualmente el consumo total de agua, se tienen registros desde el año 2011 hasta junio de 2015, estos datos se muestran en la Tabla 54.

Tabla 54 Consumo de agua Empresa productora de bienes de caucho

CONSUMO DE AGUA (m³) EMPRESA PRODUCTORA DE BIENES DE CAUCHO					
Mes	2011	2012	2013	2014	2015
Ene	4	161	246	249	167
Feb	221	238	254	240	206
Mar	199	191	212	203	204
Abr	178	177	209	211	172
May	185	171	192	235	195

CONSUMO DE AGUA (m³) EMPRESA PRODUCTORA DE BIENES DE CAUCHO					
Mes	2011	2012	2013	2014	2015
Jun	204	189	211	165	181
Jul	175	200	221	283	-
Ago	192	197	205	225	-
Sep	210	251	241	201	-
Oct	192	253	249	209	-
Nov	182	242	228	216	-
Dic	184	276	258	200	-
Promedio mensual por año	177	212	227	220	188

Fuente: Empresa productora de bienes de caucho

En la Ilustración 65 se gráficaron los valores de consumo mensual promedio, al hacer un promedio por año, se tiene que el valor promedio de consumo de agua total en la empresa es de 205 m³.

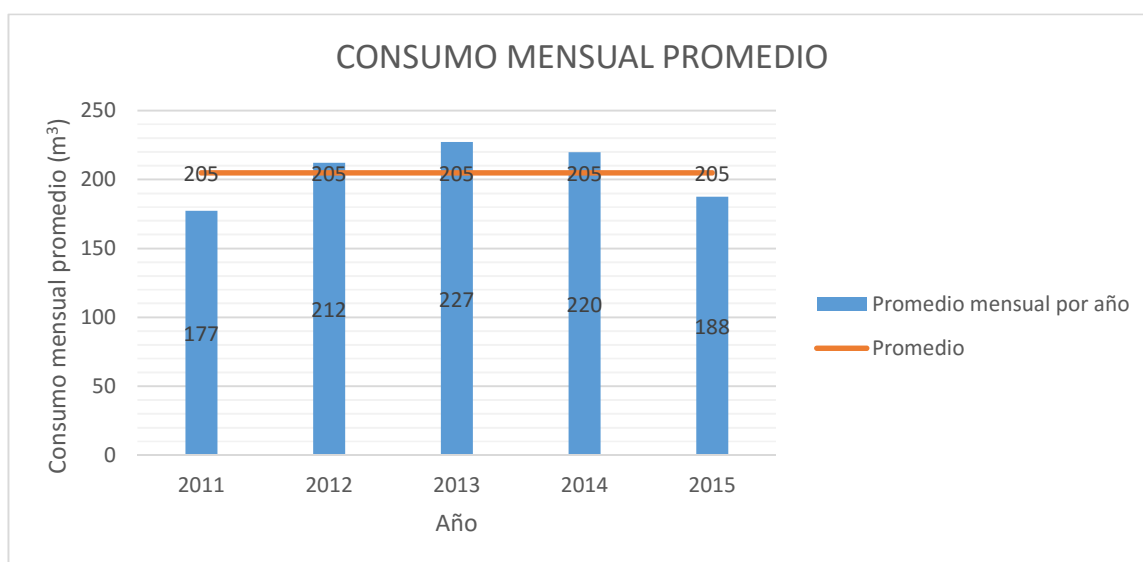


Ilustración 65 Consumo mensual Empresa productora de bienes de caucho

En la torre de enfriamiento se almacena el agua que será utilizada en los procesos industriales, la empresa registró valores de consumo diario promedio para los años 2011, 2012 y 2013, los cuales se muestran en Tabla 55.

Tabla 55 Consumo promedio diario Empresa productora de bienes de caucho

AÑO	Consumo promedio diario (m³)	Consumo promedio mensual (m³)
2011	2.12	64
2012	2.59	78

2013	2.47	74
------	------	----

Fuente: Empresa productora de bienes de caucho

Según la información suministrada, el consumo industrial promedio mensual es de 72 m³.

○ **Volumen total efectivo de agua**

Considerando que al almacenar el agua pueden generarse pérdidas por evaporación e infiltración, se debe considerar un volumen mayor para la captación.

Suponiendo que las pérdidas representan el 10%, el volumen efectivo de agua lluvia a captar es:

Volumen total efectivo = 110 % x Volumen total

Este cálculo se muestra en la Tabla 56.

Tabla 56 Volumen total efectivo Empresa productora de bienes de caucho

CANTIDAD DE AGUA INDUSTRIAL REQUERIDA				
Mes	Volumen de agua requerido		Volumen total efectivo	
	Volumen del mes	Volumen acumulado	Volumen del mes	Volumen acumulado
Ene	72	72	79	79
Feb	72	144	79	158
Mar	72	216	79	238
Abr	72	288	79	317
May	72	360	79	396
Jun	72	432	79	475
Jul	72	504	79	554
Ago	72	576	79	634
Sep	72	648	79	713
Oct	72	720	79	792
Nov	72	792	79	871
Dic	72	864	79	950

Para más detalles Anexo 2, hoja "Consumos".

7.2.3 Determinación de la precipitación promedio

La empresa productora de bienes de caucho está ubicada en el sector de Itagüí, cerca al cementerio Montesacro por lo cual se tomaron los datos pluviométricos de la estación Universidad del CES de Sabaneta, desde enero del año 2011 hasta septiembre del año 2015, estos datos fueron suministrados por el SIATA.

Tabla 57 Precipitaciones totales Estación Universidad CES Sabaneta

Precipitación total mensual (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VALOR ANUAL
2011	0	86.078	248.356	0	0.508	0.254	6.857	84.308	184.617	247.336	215.094	160.232	1233.64
2012	107.661	68.315	108.94	275.525	294.575	123.147	133.579	215.598	66.283	292.538	217.361	62.462	1965.984
2013	49.52	207.968	113.514	141.695	288.995	210.779	27.427	233.89	204.171	183.091	214.809	0	1875.859
2014	0	-	-	0	113.03	115.824	32.766	134.62	149.098	182.626	154.686	154.178	1036.828
2015	69.088	97.536	101.6	117.348	114.808	42.672	124.968	41.656	-	-	-	-	709.676
MÁXIMOS	107.661	207.968	248.356	275.525	294.575	210.779	133.579	233.89	204.171	292.538	217.361	160.232	2586.635
MÍNIMOS	0	68.315	101.6	0	0.508	0.254	6.857	41.656	66.283	182.626	154.686	0	622.785
Precipitación promedio mensual	45.2538	114.97425	143.1025	106.9136	162.3832	98.5352	65.1194	142.0144	151.04225	226.39775	200.4875	94.218	1550.44185

Fuente: SIATA

El cálculo de la precipitación promedio mensual está dado por la Ecuación 1:

7.2.4 Análisis de los datos de precipitación

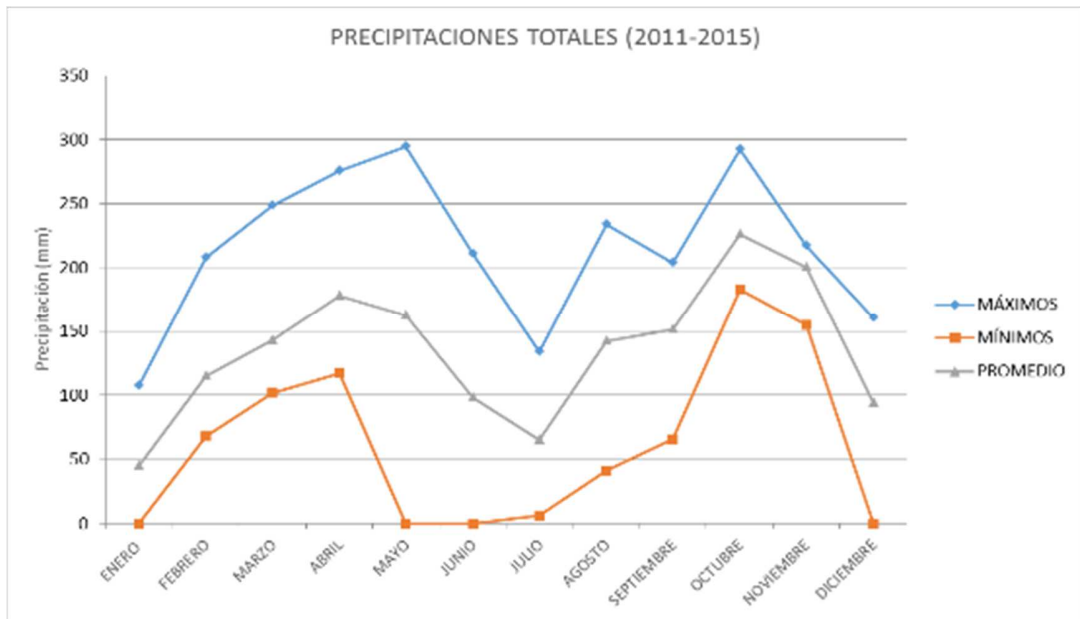


Ilustración 66 Precipitaciones totales mensuales Estación Universidad CES Sabaneta
Fuente: SIATA

En la Ilustración 66 se observa la tendencia de las precipitaciones promedio para los años 2011 a 2014, con valores mayores para los meses de abril, mayo y octubre; y valores menores para los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre; lo cual concuerda con los datos obtenidos para la estación Olaya Herrera, siguiendo una tendencia similar..

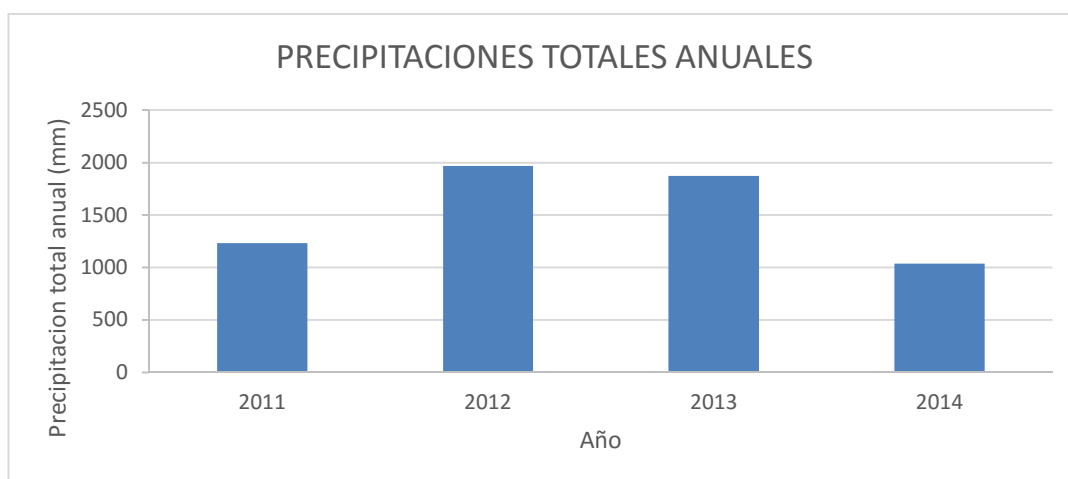


Ilustración 67 Precipitaciones totales anuales Universidad CES Sabaneta
Fuente: IDEAM

En la Ilustración 67 se muestran las precipitaciones totales de cada año desde el año 2011 hasta el año 2014, según el gráfico los años con mayor valor de precipitación son los años 2012 y 2013 y los años más secos fueron el año 2011 y 2014.

Según la Tabla 17, en los años 2011 a 2014 se presentaron más fenómenos de la niña que del niño, por lo cual los cuatro años fueron predominantemente lluviosos.

7.2.5 Área de captación

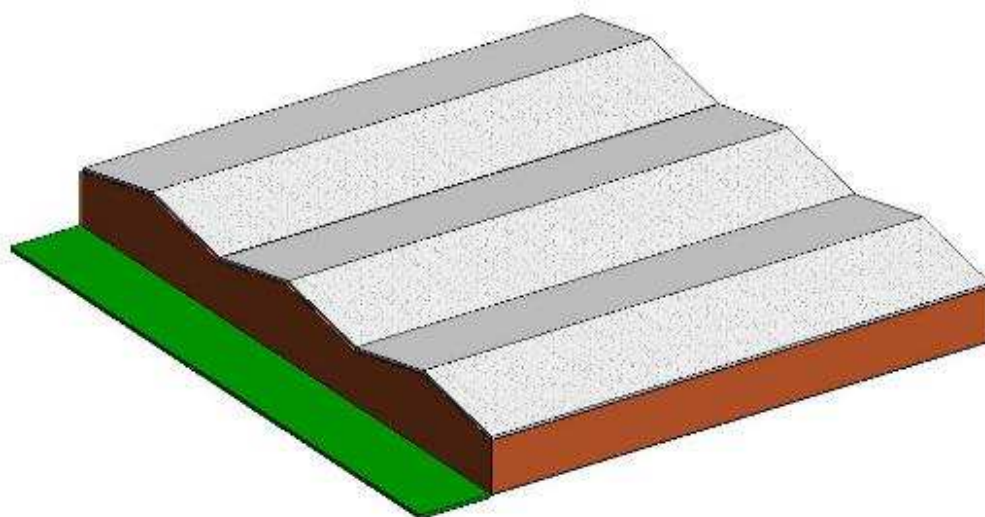


Ilustración 68 Esquema de la planta de producción de la empresa productora de bienes de caucho
Fuente: Creación propia

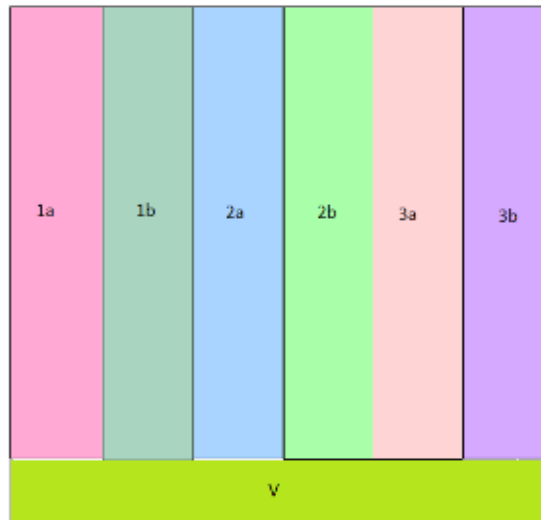


Ilustración 69 Esquema áreas techos y área verde Empresa productora de bienes de caucho

La Ilustración 68 es una representación esquemática en 3D de la planta de producción de la empresa productora de bienes de caucho, la cual se compone de 3 bodegas de 1000 m² cada una. La Ilustración 69 es la vista en planta de la empresa, de la cual se calculan las áreas proyectadas, que se muestran en la Tabla 58.

Tabla 58 Áreas techo y área verde Empresa productora de bienes de caucho

Techo Número	Área (m2)
1a	512
1b	512
2a	512
2b	512
3a	512
3b	512
V	422.857

7.2.6 Oferta vs Demanda de agua

Se compara el volumen mensual de precipitación, que corresponde a la oferta de agua mensual contra el volumen que demandan los procesos mensualmente.

En la Tabla 59 se calculó el volumen de agua de precipitación que se puede llegar a captar por cada sección de techo en m³, este valor se obtuvo de pasar los milímetros de precipitación de cada mes a la unidad metro, para multiplicarlo luego por el área

respectiva de cada sección de techo. Para mayor seguridad se utilizaron los valores de precipitación mínima, así poder tener certeza de la cantidad de agua lluvia disponible.

El volumen captado depende del tipo de material de captación de acuerdo al coeficiente de esorrentía, estos se muestran en la Tabla 19., para la captación en cubiertas se tiene un coeficiente de esorrentía $C = 0.95$ y para los jardines un $C=0.3$.

Además para tener en cuenta las pérdidas por evaporación y absorción se supone un porcentaje de pérdidas del 20% para los jardines.

Se calcula la oferta efectiva con la Ecuación 3 para cubiertas y la Ecuación 4 para jardines.

Tabla 59 Oferta mensual de agua lluvia Empresa productora de bienes de caucho

Techo Número	Área (m2)	Volumen de precipitación (m³)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL
1a	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
1b	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
2a	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
2b	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
3a	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
3b	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
V	422,857	0,00	28,89	42,96	49,62	0,21	0,11	2,90	17,61	28,03	77,22	65,41	0,00	312,97
Total cubiertas	3072	0,00	199,37	296,51	342,47	1,48	0,74	20,01	121,57	193,44	532,98	451,44	0,00	2160,00
Total jardines	422,857	0,00	8,67	12,89	14,89	0,06	0,03	0,87	5,28	8,41	23,17	19,62	0,00	93,89
Oferta efectiva cubiertas		0,00	199,37	296,51	342,47	1,48	0,74	20,01	121,57	193,44	532,98	451,44	0,00	2160,00
Oferta efectiva jardines		0,00	6,93	10,31	11,91	0,05	0,03	0,70	4,23	6,73	18,53	15,70	0,00	75,11
Oferta total		0,00	206,30	306,82	354,38	1,53	0,77	20,71	125,80	200,17	551,51	467,13	0,00	2235,12

La Tabla 60 compara los valores de volumen de precipitación obtenidos en la tabla anterior contra los valores de demanda de agua, para la empresa productora de bienes de caucho.

Tabla 60 Oferta vs Demanda de agua empresa productora de bienes de caucho

Mes	OFERTA TOTAL (m³)	DEMANDA TOTAL (m³)
Ene	0	79
Feb	206	79
Mar	307	79
Abr	354	79
May	2	79
Jun	1	79
Jul	21	79
Ago	126	79
Sep	200	79
Oct	552	79
Nov	467	79
Dic	0	79

En la Ilustración 70 se graficó la oferta de agua total que puede ser recolectada por los techos de la empresa, contra la demanda de agua necesaria para el funcionamiento de los procesos de la empresa, según la gráfica, la oferta puede suplir la demanda en todos los meses excepto enero, mayo, junio, julio y diciembre.

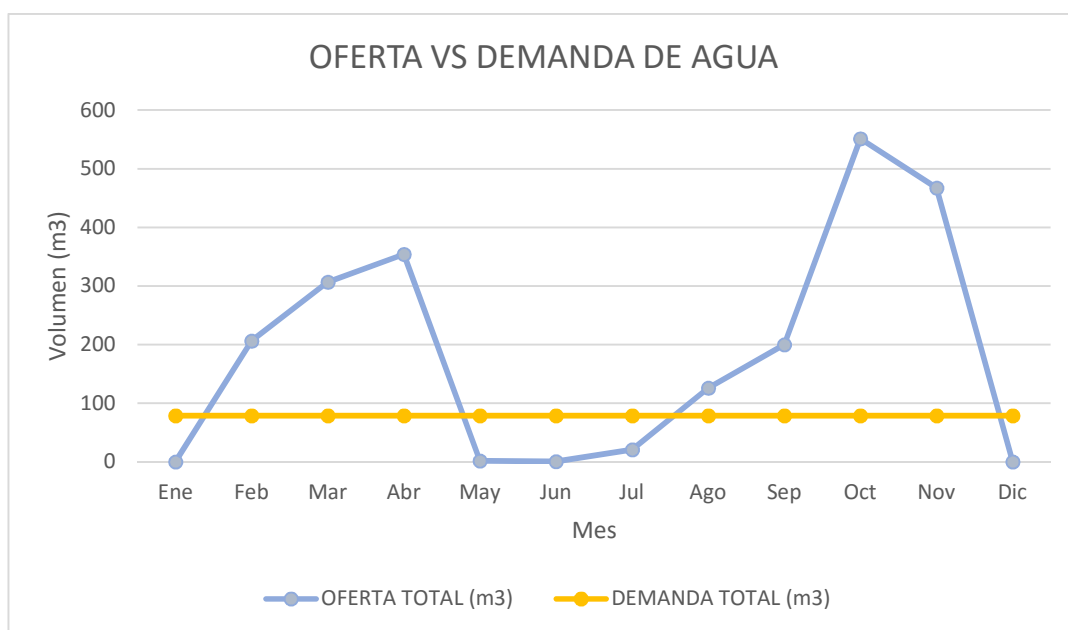


Ilustración 70 Oferta vs Demanda de agua Empresa productora de bienes de caucho

Para más detalles ver Anexo 2, hoja “Oferta Vs. Demanda”.

7.2.7 Ubicación del tanque de almacenamiento



Ilustración 71 Ubicación tanque de almacenamiento Empresa productora de bienes de caucho
Fuente: Google Earth

La empresa productora de bienes de caucho no cuenta con un área verde dentro de sus instalaciones, el área verde aledaña a la planta de producción que se usará para el diseño del tanque de almacenamiento es la mostrada en la Ilustración 71, esta zona verde es denominada espacio público, ya que está destinada a la circulación de peatones; sin embargo para efectos del ejercicio del cálculo del drenaje sostenible se hace la suposición que esta área verde está disponible y es completamente apta para su uso.

7.2.8 Techos necesarios para suplir la demanda de agua

Para suplir la demanda de agua de la empresa no es necesario contar con toda el área de captación anteriormente analizada, por lo cual se analizan cuáles de los techos cercanos al tanque de almacenamiento cuentan con el área suficiente para suplir la demanda de agua, y así no exceder el espacio disponible para la disposición del tanque de almacenamiento. En la Ilustración 72 se identifican los techos elegidos con un color diferente al gris, y el área verde inmediatamente encima del tanque de almacenamiento.

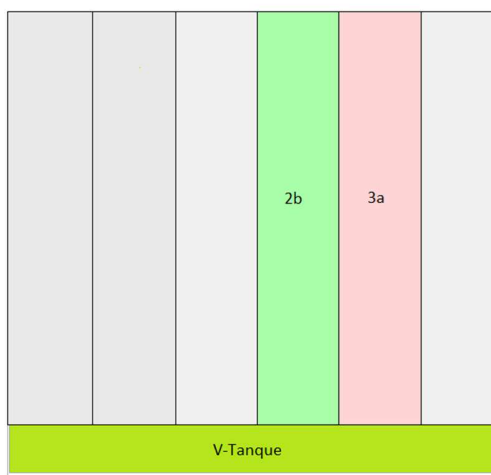


Ilustración 72 Área elegida para la captación Empresa productora de bienes de caucho

En la Tabla 61 se muestran los techos necesarios según su área y cercanía al lugar de captación, y se presenta el volumen de oferta efectiva de cada uno de ellos.

Tabla 61 Oferta mensual aportada por una sección de techo Empresa productora de bienes de caucho

OFERTA MENSUAL APORTADA POR CADA ÁREA DE TECHO														
Techo Número	Área (m2)	Precipitación (m³)												TOTAL ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2b	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
3a	512	0,00	34,98	52,02	60,08	0,26	0,13	3,51	21,33	33,94	93,50	79,20	0,00	378,95
V-Tanque	365	0,00	24,93	37,08	42,83	0,19	0,09	2,50	15,20	24,19	66,66	56,46	0,00	270,15
Total cubiertas	3072	0,00	66,46	98,84	114,16	0,49	0,25	6,67	40,52	64,48	177,66	150,48	0,00	720,00
Total jardines	365	0,00	7,48	11,13	12,85	0,06	0,03	0,75	4,56	7,26	20,00	16,94	0,00	81,04
Oferta efectiva cubiertas		0,00	66,46	98,84	114,16	0,49	0,25	6,67	40,52	64,48	177,66	150,48	0,00	720,00
Oferta efectiva jardines		0,00	5,98	8,90	10,28	0,04	0,02	0,60	3,65	5,81	16,00	13,55	0,00	64,84
Oferta total		0,00	72,44	107,74	124,44	0,54	0,27	7,27	44,17	70,29	193,66	164,03	0,00	784,84

7.2.9 Volumen de almacenamiento

En la se realizó la verificación para cumplir la demanda de agua mensual con el conjunto de techos elegido, teniendo en cuenta el área disponible para la captación con la que cuenta la empresa, y procurando obtener el mayor número de meses con un porcentaje de abastecimiento de agua lluvia mayor al 50% de la demanda.

Para calcular el agua lluvia disponible de cada mes se tiene en cuenta que en algunos períodos el agua de captación será mayor que la demanda y que este volumen extra puede ser utilizado en períodos más secos (Ecuación 5), este volumen sobrante se calcula como la diferencia entre el volumen disponible de agua lluvia y el volumen de agua lluvia gastado para abastecer la demanda del mismo mes (Ecuación 6).

Tabla 62 Verificación de la oferta de techos elegidos Empresa productora de bienes de caucho

	Mes	AGUA LLUVIA CAPTADA (m3)	AGUA LLUVIA DISPONIBL E (m3)	DEMANDA (m3)	ABASTECIMIENT O CON AGUA LLUVIA (m3)	ABASTECIMIENTO CON AGUA POTABLE (m3)	AGUA LLUVIA SOBRANTE (m3)	% ABASTECIMIENT O AGUA LLUVIA	% ABASTECIMIENT O AGUA POTABLE	VOLUMEN DEL TANQUE NECESARIO
AÑO 1	ENERO	0,00	0,00	78,98	0,00	78,98	0,00	0%	100%	278,71
	FEBRERO	72,44	72,44	78,98	72,44	6,54	0,00	92%	8%	
	MARZO	107,74	107,74	78,98	78,98	0,00	28,76	100%	0%	
	ABRIL	124,44	153,19	78,98	78,98	0,00	74,21	100%	0%	
	MAYO	0,54	74,75	78,98	74,75	4,23	0,00	95%	5%	
	JUNIO	0,27	0,27	78,98	0,27	78,71	0,00	0%	100%	
	JULIO	7,27	7,27	78,98	7,27	71,71	0,00	9%	91%	
	AGOSTO	44,17	44,17	78,98	44,17	34,81	0,00	56%	44%	
	SEPTIEMBRE	70,29	70,29	78,98	70,29	8,69	0,00	89%	11%	
	OCTUBRE	193,66	193,66	78,98	78,98	0,00	114,68	100%	0%	
	NOVIEMBRE	164,03	278,71	78,98	78,98	0,00	199,73	100%	0%	
	DICIEMBRE	0,00	199,73	78,98	78,98	0,00	120,75	100%	0%	
AÑO 2	ENERO	0,00	120,75	78,98	78,98	0,00	41,77	100%	0%	278,71
	FEBRERO	72,44	114,21	78,98	78,98	0,00	35,23	100%	0%	
	MARZO	107,74	142,96	78,98	78,98	0,00	63,98	100%	0%	
	ABRIL	124,44	188,42	78,98	78,98	0,00	109,44	100%	0%	
	MAYO	0,54	109,98	78,98	78,98	0,00	31,00	100%	0%	
	JUNIO	0,27	31,27	78,98	31,27	47,71	0,00	40%	60%	
	JULIO	7,27	7,27	78,98	7,27	71,71	0,00	9%	91%	
	AGOSTO	44,17	44,17	78,98	44,17	34,81	0,00	56%	44%	
	SEPTIEMBRE	70,29	70,29	78,98	70,29	8,69	0,00	89%	11%	
	OCTUBRE	193,66	193,66	78,98	78,98	0,00	114,68	100%	0%	
	NOVIEMBRE	164,03	278,71	78,98	78,98	0,00	199,73	100%	0%	
	DICIEMBRE	0,00	199,73	78,98	78,98	0,00	120,75	100%	0%	

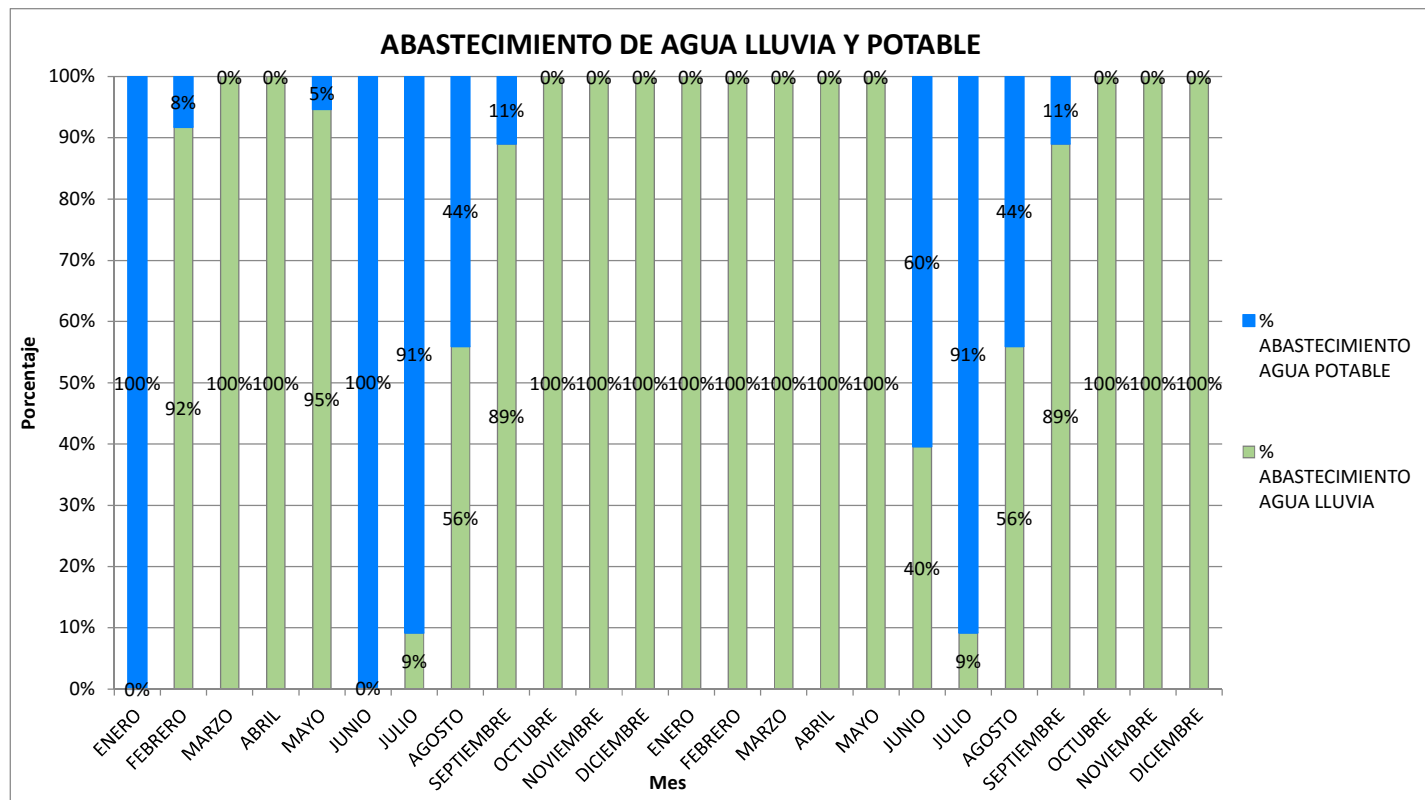


Ilustración 73 Abastecimiento de agua Empresa productora de bienes de caucho

La Ilustración 73 muestra el potencial de ahorro de agua potable para cada mes en dos años consecutivos, de color verde se ilustra el porcentaje de agua que será remplazado por agua lluvia y en azul el que debe ser suplido con agua potable.

Con esta verificación se observa que el tanque debe tener una capacidad para almacenar agua lluvia de 300 m³.

La empresa manifiesta que se hace una reposición total del agua de la torre de enfriamiento con aproximadamente 2000 m³ de agua de EPM cada seis meses, la cual no alcanza a ser suplida con agua lluvia, por lo tanto se seguirá abasteciendo de agua potable cuando sea requerida, y no se tomará en cuenta en los cálculos.

7.2.10 Conexión captación-tanque

El sistema de recolección de agua lluvia comprende el conjunto de canaletas y bajantes que se encargan de conducir el agua captada en la cubierta al punto de descarga, ya sea una alcantarilla o un tanque de almacenamiento.

Los bajantes de agua lluvia de los techos elegidos para la captación, descargan el agua lluvia en la zona verde aledaña a la empresa, tal como se observa en la Ilustración 74 donde se pretende ubicar el tanque de almacenamiento, por lo tanto no es necesario diseñar una red de conexión al tanque, sin embargo se realiza una verificación de las dimensiones necesarias según la norma de fontanería Colombiana.

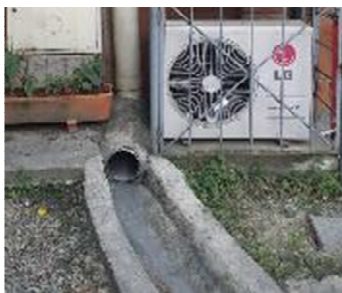


Ilustración 74 Fotografía bajantes Empresa productora de bienes de caucho

o Verificación de las dimensiones de las canaletas

Las canaletas están encargadas de la captación y conducción del agua lluvia a cada uno de los bajantes, el flujo de agua lluvia se comporta como un flujo espacialmente variado, ya que el agua se va recolectando en toda la longitud de la canaleta (COLEGIO DE POSTGRADUADOS EN CIENCIAS AGRÍCOLAS, 2007).

La intensidad de precipitación determina las dimensiones necesarias del canal, el código colombiano de fontanería establece que para el dimensionamiento de los desagües pluviales principales de cubiertas, se considera una intensidad de precipitación obtenida a

partir de las curvas de intensidad-frecuencia y duración propias de la zona, para un período de retorno mínimo de 15 años y una duración de 30 minutos (ICONTEC, 2004), en la Ilustración 45, se muestran las curvas de intensidad-frecuencia de la estación Olaya Herrera, para diferentes períodos de retorno, se tomaron los datos de esta estación como referencia ya que no se contaba con esta información para la estación pluviométrica del CES, sin embargo son válidos los datos debido a la cercanía entre las dos empresas; en la Tabla 24 se muestran las relaciones obtenidas de la gráfica, de las cuales se toma para un período de retorno de 25 años y una duración de 30 minutos, una intensidad de precipitación de 84.1 mm/h.

Cada canaleta recibe el agua lluvia de un área determinada de techo, las áreas correspondientes a cada canaleta se determinan según la inclinación de los techos, en la Ilustración 75 se muestra la ubicación de las canaletas y en la Tabla 63 las características de cada uno de las canaletas, tales como la longitud, el área aferente de techo correspondiente, la pendiente del canal, las dimensiones de la sección y la intensidad de precipitación máxima, según los datos de precipitación obtenidos por el IDEAM.

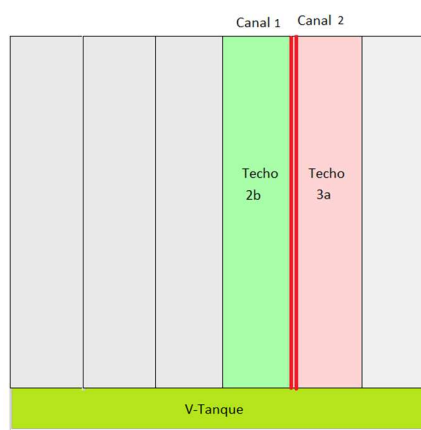


Ilustración 75 Esquema de ubicación canaletas Empresa productora de bienes de caucho

Tabla 63 Características canaleta Empresa productora de bienes de caucho

Canaleta	Longitud (m)	Techos correspondientes	Área aferente total (m ²)	Pendiente %	Ancho canal (mm)	Alto canal (mm)	Intensidad de precipitación (mm/h)
1	50.00	2b	512.0000	2%	200.00	100.00	84.1
2	50.00	3a	512.0000	2%	200.00	100.00	84.1

Según la Tabla 26 para una pendiente del canal del 2%, una intensidad de precipitación menor a 102 mm/h y un área de techo aferente menor a 668.9 m², se tiene un diámetro de canal equivalente de 254 mm.

Para obtener las dimensiones equivalentes de un canal rectangular se sigue la Ecuación 9

Despejando para un diámetro equivalente obtenido de 254 mm, se tiene que el ancho mínimo del canal debe ser de 180 mm; con lo que se concluye que el ancho actual del canal de 200 mm es adecuado.

Para más detalles Anexo 2, hoja “Canaletas”.

○ **Verificación de las dimensiones de los bajantes**

Un bajante pluvial es la tubería vertical que recoge el agua proveniente de las canaletas de techo, y la conduce hacia la zona de descargue.

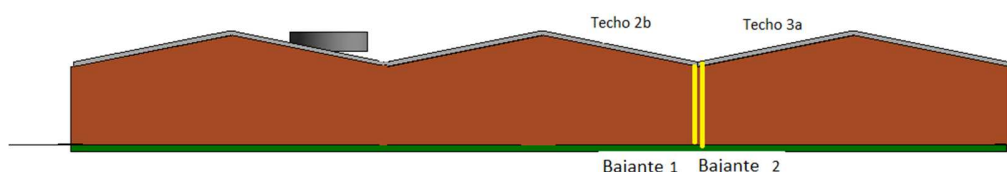


Ilustración 76 Bajantes empresa productora de bienes de caucho

En la Ilustración 76 se representan esquemáticamente los bajantes correspondientes a los techos elegidos para la captación de color amarillo, y en la Tabla 64 sus características, tales como dimensiones de longitud, diámetro e intensidad de precipitación máxima.

Tabla 64 Características bajantes Empresa productora de bienes de caucho

Bajante	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Intensidad de precipitación (mm/h)	Área aferente de techo (m ²)
1	5.000	160.000	84.100	512.000
2	5.000	160.000	84.100	512.000

Según la Tabla 28 para una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h y un área de techo aferente menor a 583 m², el diámetro del bajante debe ser de mínimo 125 mm, por lo cual se concluye que el diámetro de 6” que tienen actualmente los bajantes es adecuado y cumple con los requerimientos del código colombiano de fontanería.

Para más detalles Anexo 2, hoja “Bajantes”.

7.2.11 Tanque de filtración y almacenamiento

Para proceder con el diseño para el tanque de la Empresa productora de bienes de caucho, se realiza el estudio de suelos de la zona

○ **Estudio de suelos:**

Para determinar la profundidad a la cual puede llegar el tanque de almacenamiento es necesario determinar a qué profundidad se encuentra el nivel freático del suelo, este dato

se tomó del estudio de suelos de una construcción aledaña a la empresa, la cual corresponde al puente de la 77 ubicado en la ciudad de Medellín, en el estudio de suelos se encontró el nivel freático entre los 3.6 m y 6 m de profundidad en dieciséis perforaciones (Tecnisuelos, 2009). Los valores encontrados por perforación se muestran en la Tabla 65.

Tabla 65 Profundidad del nivel freático Empresa productora de bienes de caucho

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO	
SONDEO	PROFUNDIDAD (m)
P-1	4.50
P-2	4.30
P-3	5.10
P-4	3.80
P-5	3.80
P-6	5.00
P-7	4.60
P-8	4.10
P-9	4.20
P-10	4.10
P-11	6.00
P-12	4.50
P-13	5.50
P-14	5.30
P-15	No se encontró
P-16	No se encontró

Fuente: (Tecnisuelos,2009)

○ **Dimensionamiento de los módulos:**

Para calcular el número de elementos necesarios para un tanque de 300 m³ se utilizan los datos tomados de la ficha técnica de Módulos Flow-Tank, datos como área en planta y volumen de almacenamiento y se hallan con la Ecuación 10.

El área total ocupada en planta por módulos depende del número de elementos necesarios previamente hallados y se calcula con la Ecuación 11.

Para calcular el área total ocupada por los módulos y la zanja de excavación, se utiliza la Ecuación 12 y así según el resultado se elige el tipo de módulo apto para el área disponible que se tiene en la empresa.

En la Tabla 29 y la Ilustración 48, se observan las dimensiones de los módulos sencillo y doble, (Aquatectura, 2010). Se debe hacer una verificación previa para escoger el tipo de módulo, teniendo en cuenta que se debe hacer un lleno bajo de la superficie del tanque y un lleno sobre los módulos y las celdas, cada uno de espesor 30 cm. En la Tabla 30 se observan las dimensiones de la celda de drenaje para continuar con los cálculos.

A continuación con la Ecuación 13 se hace una verificación de que la profundidad de excavación sea menor al nivel freático de la zona:

Verificación para Flow-Tank Doble:

$$\text{Profundidad de excavación (m)} = (0,3 \times 2) + 0,88 + 0,052 = 1,53$$

$$1,53 \text{ m} < 3,6 \text{ m}$$

El resultado de las ecuaciones anteriores se encuentran en la Tabla 66, allí se observa el total de m² necesarios en planta y zanja de excavación.

Tabla 66 Cálculo de cantidad de módulos Flow-Tank Empresa manufacturera de embragues

VOLUMEN NECESARIO [M3]					300
ELEMENTO	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO [M3]	AREA EN PLANTA [M2]	ELEMENTOS NECESARIOS [UND]	AREA OCUPADA EN PLANTA POR MODULOS [M2]	AREA APROXIMADA EN PLANTA POR MODULOS Y ZANJA DE EXCAVACIÓN [M2]
Flow-Tank Single	0,12	0,28	2500	698,70	714,65
Flow-Tank Double	0,23	0,28	1305	364,72	376,27

NOTAS

La zanja de excavación en planta representa 30 cm a cada lado de los módulos

Al haber sido elegido el módulo doble para construir el tanque, se debe continuar con los cálculos de las dimensiones del tanque y las dimensiones de excavación necesarias. En la Tabla 32 se encuentran las dimensiones de los módulos dobles (Ilustración 49) al igual que su capacidad para almacenar agua y en la Tabla 67 se muestran las dimensiones del área verde disponible en la empresa para construir el tanque.

Tabla 67 Dimensiones área verde disponible

Dimensiones área verde disponible	
Largo disponible (m)	60,00
Ancho disponible (m)	7,00

A continuación, en la Tabla 68, se muestran los cálculos necesarios para determinar cuántos módulos son necesarios para un tanque de capacidad de 300 m³.

Tabla 68 Cálculo de módulos en el tanque

Cálculo de módulos en el tanque	
Relleno perímetro (m)	0,60
Número de módulos a lo ancho	9,00
Número de módulos a lo largo	145,00
Número de módulos a lo alto	1
Número total de módulos	1305,00
Volumen total módulos (m ³)	326,25

Cuando ya se tiene el número de módulos, se procede a calcular las dimensiones del tanque, como se observa en la Tabla 69:

Tabla 69 Dimensiones tanque

Dimensiones tanque (m)	
Largo del tanque	59,16
Ancho del tanque	6,17
Profundidad tanque	0,88

Este tanque tiene un volumen de 320,95 m³ así que, teniendo en cuenta el espesor del relleno del perímetro, en la Tabla 70 se calculan las dimensiones del volumen de excavación necesario.

Tabla 70 Cálculo dimensiones excavación

Cálculo dimensiones excavación	
Largo de excavación (m)	59,76
Ancho de excavación (m)	6,77
Área en planta de excavación (m ²)	404,28
Profundidad de excavación (m)	1,53
Volumen de excavación (m ³)	619,35

Por último en la Tabla 71, con todos los cálculos anteriores, se verifica que la capacidad completa del almacenar agua sea de 300 m³ y se calcula el volumen total del lleno que es necesario.

Tabla 71 Cálculo volúmenes finales

Cálculo volúmenes finales	
Volumen de agua neto (m ³)	300,15
Volumen del lleno (m ³)	293,10

Encima del tanque de almacenamiento, se ubican las celdas de drenaje, en este caso serán 4 filas de celdas y en la Tabla 72 se muestran las dimensiones y las cantidades necesarias.

Tabla 72 Cantidad celdas de drenaje

Cantidad celdas de drenaje (m)	
Número de celdas a lo ancho	6
Número de celdas a lo largo	123
Ancho total	1,56
Largo total	59,16
Área superficial total	92,29
Número total celdas	740

El siguiente paso es el cálculo de la cantidad de geotextil requerido para cubrir el tanque, la zona de excavación y las celdas de drenaje, para el primero y el segundo se utilizan la Ecuación 14 y Ecuación 15 respectivamente y para las celdas de drenaje no es necesario calcular ya que éste solo cubre el área superficial y el dato se halló en la tabla anterior.

En la Tabla 73 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 73 Cálculos geotextil

Cálculo geotextil (m²)	
Geotextil módulos	1001,79
Geotextil celdas	92,29
Geotextil excavación	668,92

Los últimos cálculos, mostrados en la Tabla 74 consisten en hallar la cantidad total de lleno (que se encuentra restando entre el volumen de la zanja de excavación y el volumen que ocupan todos los módulos) y la cantidad de membrana PVC para la que se utiliza la Ecuación 16:

Tabla 74 Cálculos finales

Cálculos finales	
Lleno de celdas (m ³)	4,32
Membrana PVC (m ³)	1013

VISTA EN PLANTA DRENAJE SOSTENIBLE

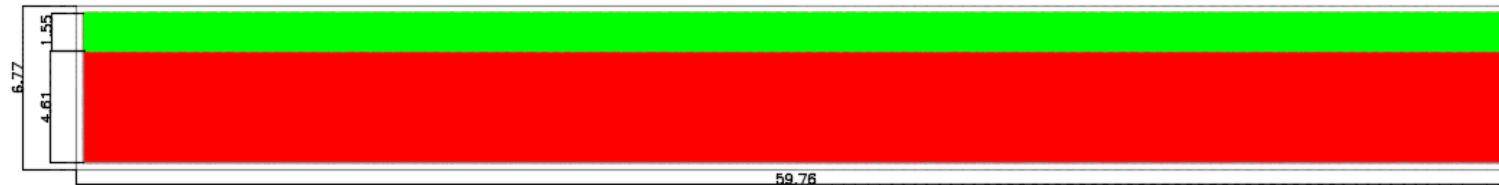


Ilustración 77 Vista en planta Drenaje sostenible Empresa productora de bienes de caucho

VISTA LATERAL DRENAJE SOSTENIBLE

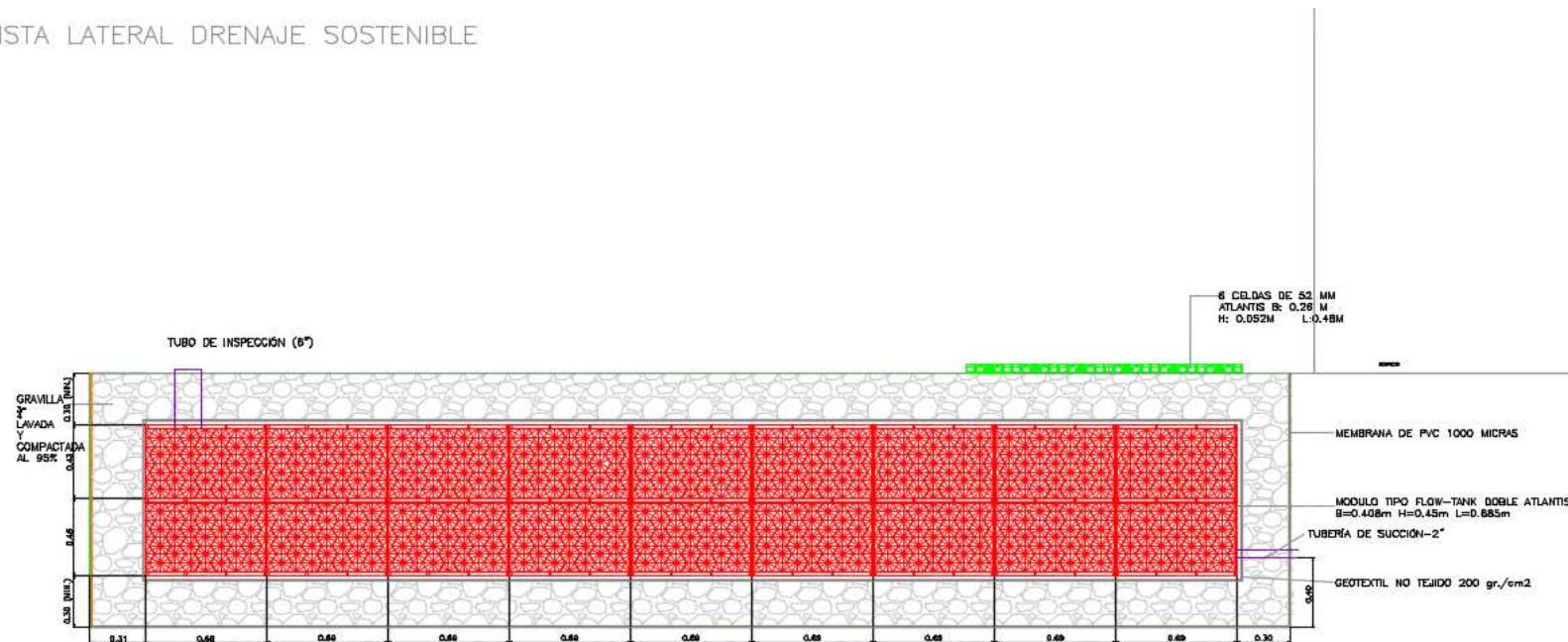


Ilustración 78 Vista lateral Drenaje sostenible Empresa productora de bienes de caucho

Para más detalles Anexo 2, hoja “Módulos Flow-Tank”.

7.2.12 Red de distribución de agua lluvia a los procesos y sistema de bombeo

El tanque de almacenamiento de agua lluvia debe abastecer cada mes a la torre de enfriamiento, que a su vez abastece a los molinos mezcladores de materia prima, las extrusoras de caucho y el túnel de enfriamiento de pasta de caucho, la ubicación de la torre de enfriamiento se muestra en la Ilustración 79.

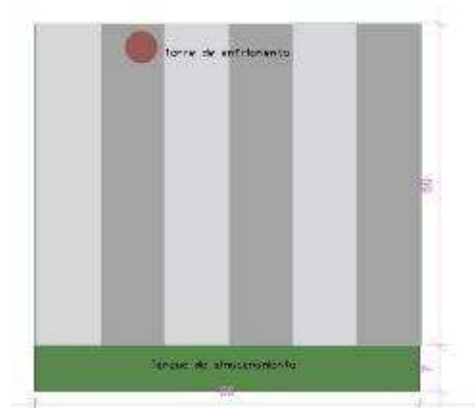


Ilustración 79 Esquema procesos Empresa productora de bienes de caucho

Tratando de minimizar al máximo la longitud de la red, y el número de piezas utilizadas se realiza el trazado de la red, el trazado completo de la red se visualiza en la Ilustración 80.

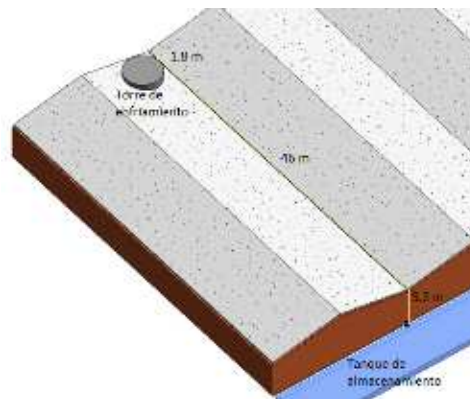


Ilustración 80 Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho

Al tener el tanque de almacenamiento enterrado se debe bombear el agua del tanque, en la Ilustración 81 se observa la ubicación de la bomba, la tubería de succión y el tanque de almacenamiento en vista de perfil.

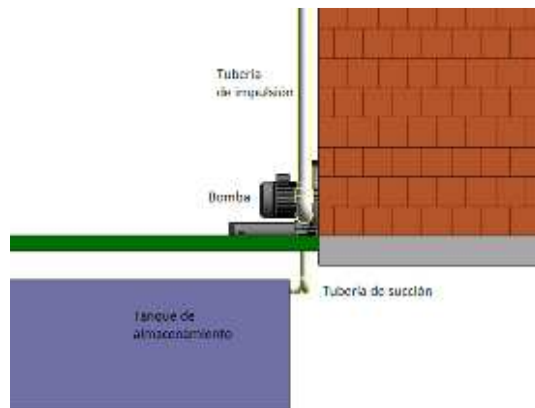
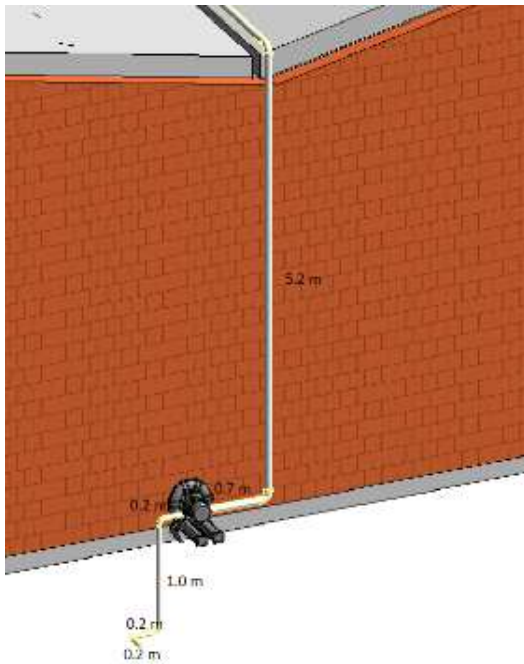
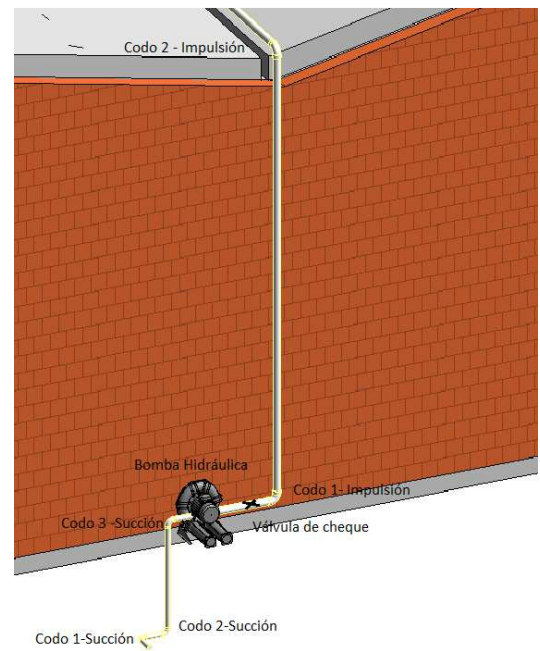


Ilustración 81 Sección 1 (Perfil) Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho

En la Ilustración 82 se observa el primer tramo de sección de la red con sus respectivas longitudes de tubería, donde se ubican las tuberías de succión, la bomba y las primeras tuberías del tramo de impulsión, luego de la bomba debe instalarse una válvula de cheque o de retención, la cual evita el contraflujo de agua hacia la bomba, permitiendo el flujo en un solo sentido y evitando daños en el equipo (GiS, 2015), el detalle de los accesorios se visualiza en la Ilustración 83; el siguiente tramo de tubería se muestra en la Ilustración 84, donde la red toma una mayor altura para abastecer a la torre de enfriamiento a una altura de 7.0 metros desde el nivel del suelo.



*Ilustración 82 Sección 1 Red de distribución
Empresa productora de bienes de caucho
(longitudes)*



*Ilustración 83 Sección 1 Red de distribución
Empresa productora de bienes de caucho
(accesorios)*

Para poder abastecer el volumen requerido, y tener un control en la cantidad que se desea conducir, se instala una válvula tipo mariposa al llegar al tanque, estas permiten abrir y cerrar el flujo de agua lluvia cuando se requiera, en la Ilustración 84 se muestra el detalle de la conducción del agua lluvia a la torre de enfriamiento.

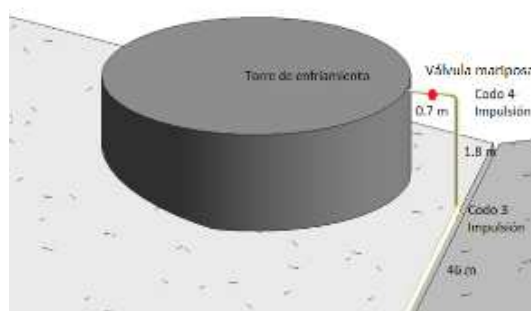


Ilustración 84 Sección 2 Red de distribución- Empresa productora de bienes de caucho

Se realiza el dimensionamiento inicial de las tuberías, asignando diámetros a las tuberías para proceder a realizar el diseño de los componentes hidráulicos necesarios para abastecer el sistema; el componente principal para realizar la impulsión es la bomba hidráulica, al realizar el proceso de cálculo y determinar el tipo de bomba hidráulica necesaria se verifican los diámetros comerciales que permite la bomba y se verifica de nuevo el resultado con estos diámetros en los tramos de conexión a la bomba e instalando uniones de transición si es necesario.

El volumen de agua a conducir a la torre de enfriamiento es de 79 m³.

El diámetro propuesto para la tubería de impulsión y succión se muestra en Tabla 75.

Tabla 75 Diámetros Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho

Dimensiones tuberías	Ø (pulgadas)	Ø (m)
Diámetro tubería impulsión	2	0.0508
Diámetro tubería succión	2	0.0508

El diseño del sistema pretende calcular la energía necesaria para conducir el agua hasta la torre de enfriamiento necesaria se calcula según la Ecuación 17.

Para calcular las pérdidas primero debe saberse el caudal que fluirá por las tuberías, este se determina según la Ecuación 18 y la Ecuación 19.

Para realizar los cálculos se debe fijar una velocidad máxima permitida, se recomienda un máximo de 1.5 m/s (Talleres Barinas, 2015), con esto se procede a hallar el caudal y el tiempo de llenado (Tabla 76).

Tabla 76 Caudal y tiempo de llenado Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho

A (m2)	V recomendada (m/s)	Q (m³/s)	Q (m³/h)	Tiempo de llenado (h)
0.0020	1.5	0.0030	10.9449	7

Tabla 77 Longitud de tuberías recorrido Torre de enfriamiento-Empresa productora de bienes de caucho

Tuberías recorrido a Torre de enfriamiento		
Tubería	Ø (m)	Longitud (m)
5	0.051	0.70
6	0.051	5.20
7	0.051	46.00
8	0.051	1.80
9	0.051	0.70
Longitud total (m)		54.40

Tabla 78 Pérdidas por fricción -Empresa productora de bienes de caucho

Recorrido a torre de enfriamiento	
L (m)	54.40
J	0.051
Hf (m)	2.749

Las pérdidas locales generadas por los accesorios y piezas de la red, tales como válvulas, reducciones y codos, pueden calcularse con la Ecuación 21 (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), los coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes se observan en la Tabla 47.

Se determina la sumatoria de coeficiente de pérdidas locales para la impulsión de agua a la torre de enfriamiento, según el número y tipo de accesorio en la Tabla 79.

Tabla 79 Sumatoria de coeficiente de pérdidas locales Empresa productora de bienes de caucho

Accesorios recorrido Torre de enfriamiento	Cantidad	K	K total
Codos cortos (90°)	4	0.9	3.6
Tee, en sentido recto	0	0.3	0
Válvula cheque	1	2.5	2.5
Válvula mariposa	1	5	5
Unión	1	0.3	0.3
Salida	1	1	1
ΣK			12.4

Utilizando la Ecuación 21 se determinan las pérdidas locales en la Tabla 80.

Tabla 80 Pérdidas locales Red de distribución Empresa productora de bienes de caucho

Pérdidas locales recorrido a Torre de enfriamiento (m)	1.42
---	------

Con los datos calculados en el anterior procedimiento ya se puede hallar la energía requerida para impulsar el agua lluvia a la torre de enfriamiento (Tabla 81).

Tabla 81- Energía necesaria bomba-Empresa manufacturera de embragues - Torre de enfriamiento

Recorrido a torre de enfriamiento	
Succión (m)	3.000
HL (m)	1.423
Hf (m)	2.749
ΔZ (m)	7.200
HB (m)	14.37

Para determinar la presión mínima de diseño de la bomba hidráulica, se utiliza la Ecuación 22 utilizando el caudal en litros por segundo y la altura en metros.

Para determinar la presión mínima de diseño de la bomba hidráulica, se utiliza la Ecuación 22 utilizando el caudal en litros por segundo y la altura en metros y una eficiencia de la bomba aproximada de 60%

Tabla 82 Potencia de la bomba

Peso específico agua (N/m ³)	9800
Eficiencia de la bomba (η)	0.6
Potencia (KW)	0.71
Potencia (HP)	0.95

La potencia mínima necesaria para la bomba hidráulica es de 0.95 HP, por lo cual se decide instalar una bomba de 1 HP, , para determinar el tipo de bomba se utiliza el catalogo virtual de la empresa Ignacio Gómez IHM SAS, el cual permite ingresar la altura (HB) y el caudal requerido y con estos datos presenta las bombas de su inventario que cumplen con los requisitos (Ignacio Gómez IHM SAS, 2015); las características de la bomba elegida se muestran en la Ilustración 85, y en la curva característica de la bomba hidráulica (Ilustración 86) se verifica que las dos alturas efectivamente cumplan con el caudal requerido dentro de la curva característica, y que el NPSH de la bomba sea mayor que 0.88 m, que la altura del tanque desde la cual se quiere bombear el agua.



Ilustración 85 Bomba hidráulica Empresa productora de bienes de caucho
 Fuente: Ignacio Gómez IHM SAS

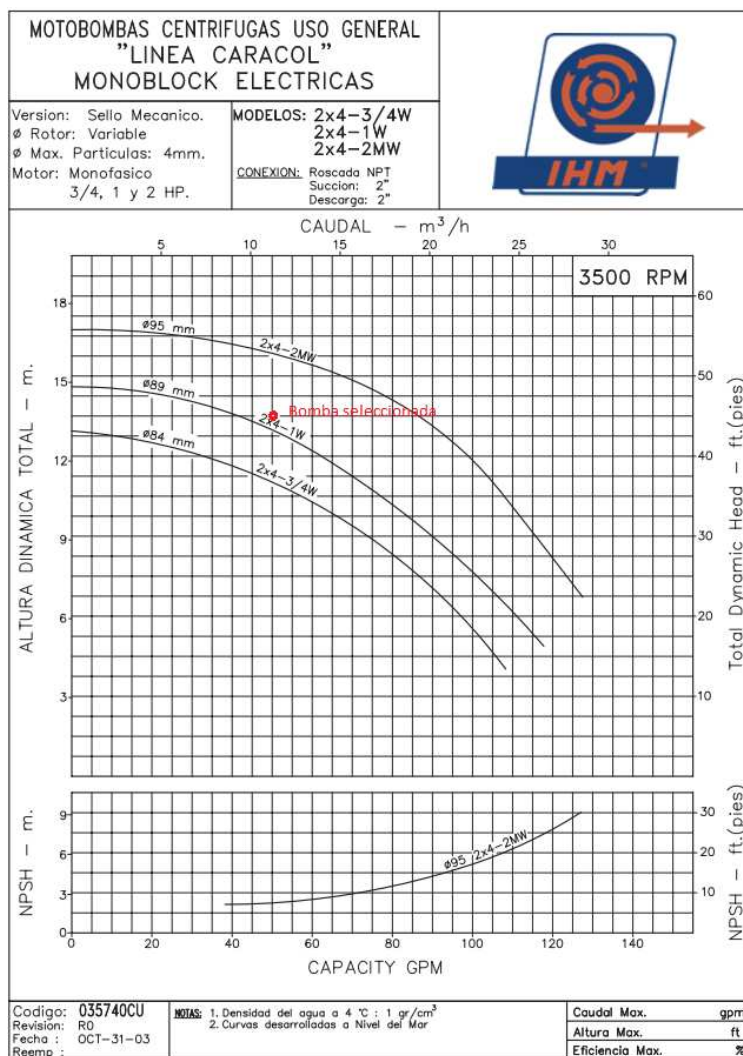


Ilustración 86 Curva característica de la bomba hidráulica Empresa productora de bienes de caucho
 Fuente: Ignacio Gómez IHM SAS

Para más detalles Anexo 2, hoja "Red de distribución".

8. COSTO DEL DRENAJE SOSTENIBLE

8.1 EMPRESA MANUFACTURERA DE EMBRAGUES

8.1.1 Costos de mantenimiento

Si se realiza un uso correcto al tanque no es necesario realizar un proceso de mantenimiento, ya que este no está expuesto al sol ni a cargas por el paso del tránsito vehicular; sin embargo se recomienda un procedimiento de inspección por lo menos cada 10 años.

El objetivo principal del proceso de mantenimiento posterior es verificar el nivel de sedimentación en su base, con el fin de que no se presente acumulación excesiva de sedimentación, y realizar trabajos de limpieza en los puntos donde se esté presentado esta acumulación, para la limpieza se debe vaciar el tanque y luego utilizando un equipo de succión se limpia el exceso de sedimentos (Aquaredes, 2013)

La empresa AQUAREDES tiene experiencia en la inspección y limpieza de este tipo de tanques, ya que han realizado el proceso de mantenimiento al tanque tormenta del aeropuerto José María Córdoba (Aquaredes, 2013).

En el diseño del tanque para la empresa manufacturera de embragues se pretende instalar un tubo de inspección de 6 pulgadas de diámetro para realizar el debido mantenimiento, su tamaño permite la entrada fácil de la cámara de inspección de alta definición, la cual permite visualizar con precisión los fenómenos encontrados (Aquaredes, 2015).

El señor Jorge Mario Merino, gerente general de la empresa AQUAREDES, informa mediante comunicación personal (llamada telefónica 5 de octubre de 2015) que en la empresa se realiza el cobro de mantenimiento por hora de trabajo, por lo cual este costo varía según las condiciones del terreno, y la cantidad de sedimentos encontrados; ya que las condiciones del terreno en la empresa manufacturera de embragues son buenas, es de fácil acceso y cuenta con un área amplia disponible para la ubicación de los equipos, se estima que la duración de la inspección sería de aproximadamente dos horas. La duración de la limpieza depende del resultado de la inspección por lo cual no se puede hacer una estimación tan aproximada como en el caso anterior, pero por tratarse de agua lluvia se espera la presencia de sedimentos en el tanque y se podría decir que la duración de la limpieza del tanque sería de mínimo tres horas.

Tabla 83 Costo mantenimiento empresa manufacturera de embragues

Costo mantenimiento					
	Duración estimada (hora)	\$/hora	\$	IVA (16%)	Total
Inspección	2	\$ 135,000.00	\$ 270,000.00	\$ 43,200.00	\$ 313,200.00
Limpieza	3	\$ 95,000.00	\$ 285,000.00	\$ 45,600.00	\$ 330,600.00
					\$ 643,800.00

Fuente: (Aquaredes, llamada telefónica 5 de octubre de 2015)

El costo total estimado para el mantenimiento anual en la empresa es de \$ 643,800; el detalle se muestra en la Tabla 83.

8.1.2 Costos de operación

El agua lluvia es un recurso gratuito, los costos de operación están representados en el gasto de energía de la bomba hidráulica, la cual tiene una potencia de 0,5 HP, y estará encendida durante 8 horas cada mes para bombear el agua hacia los procesos que necesiten del agua lluvia.

Las tarifa industrial y comercial por kwh que cobra Empresas Públicas de Medellín para Octubre de 2015 es de \$ 516.49 (EPM, 2015), el cálculo del costo mensual y anual de la operación de la bomba hidráulica se presenta en la Tabla 84.

Tabla 84 Costo de operación Bomba Hidráulica Empresa manufacturera de embragues

Costo de operación Bomba	
Potencia (HP)	0.5
Potencia (kw)	0.372845
Tiempo (h)	8
Precio unitario (Kwh)	\$ 516.49
Precio total mensual	\$ 1,540.57
Precio total anual	\$ 18,486.79

8.1.3 Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante

Según las tarifas históricas del suministro de agua por parte de EPM para el Valle de Aburrá para esta empresa es de 3,146%, como se puede observar en la Tabla 85 . Esta cifra se tomará para hacer los cálculos futuros en el ahorro económico que tendrá la empresa. Partiendo de la Tabla 23, a continuación, en la Tabla 86, se muestra el ahorro anual de la empresa con y sin el drenaje.

Tabla 85 Variación en tarifas Empresa manufacturera de embragues

VARIACIÓN EN TARIFAS EMPRESA MANUFACTURERA DE EMBRAGUES		
Año	Tarifa	Variación
2009	\$ 1.299,50	
2010	\$ 1.338,98	2,95%
2011	\$ 1.382,14	3,12%
2012	\$ 1.425,53	3,04%
2013	\$ 1.425,85	0,02%
2014	\$ 1.477,43	3,49%
2015	\$ 1.575,93	6,25%
PROMEDIO		3,146%

Tabla 86 Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante

	Mes	Abastecimiento agua potable (m³)	Precio/m³	Precio total mes	Precio sin el drenaje	Ahorro total
AÑO 1	ENERO	82,69	\$ 1.612	\$133.300	\$139.573	\$ 1.129.225
	FEBRERO	48,74		\$78.565	\$112.976	
	MARZO	0,00		\$-	\$112.976	
	ABRIL	0,00		\$-	\$112.976	
	MAYO	0,00		\$-	\$112.976	
	JUNIO	0,00		\$-	\$112.976	
	JULIO	0,00		\$-	\$139.573	
	AGOSTO	30,48		\$49.134	\$112.976	
	SEPTIEMBRE	11,59		\$18.680	\$112.976	
	OCTUBRE	0,00		\$-	\$112.976	
	NOVIEMBRE	0,00		\$-	\$112.976	
	DICIEMBRE	0,00		\$-	\$112.976	
AÑO 2	ENERO	0,46	\$ 1.612	\$748	\$139.573,35	\$ 1.261.777
	FEBRERO	48,74		\$78.565	\$112.976	
	MARZO	0,00		\$-	\$112.976	
	ABRIL	0,00		\$-	\$112.976	
	MAYO	0,00		\$-	\$112.975,79	
	JUNIO	0,00		\$-	\$ 112.975,79	
	JULIO	0,00		\$-	\$139.573	
	AGOSTO	30,48		\$49.134	\$112.976	
	SEPTIEMBRE	11,59		\$18.680	\$112.976	
	OCTUBRE	0,00		\$-	\$112.976	
	NOVIEMBRE	0,00		\$-	\$112.976	
	DICIEMBRE	0,00		\$-	\$112.976	

8.1.4 Costo de la red de distribución

La cotización para la red de distribución se realiza con los precios de la empresa INHISA (Ingeniería hidráulica y sanitaria), suministrados por Constructora CONCRETO vía correo electrónico, para el suministro e instalación de cada uno de los componentes de la red; la cotización se presenta en la Ilustración 87.



PRESUPUESTO				 Constructora Concreto		 INHISA INGENIERÍA HIDRÁULICA Y SANITARIA	
Item	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total			
1,00 TUBERÍAS				\$	457.713,60		
1,30 TUBERIA PVC-P RDE-21 DE 2"	50,10	ml	\$ 9.136,00	\$	457.713,60		
2,00 ACCESORIOS				\$	81.643,00		
2,30 ACCESORIO PVC-P DE 2"	19,00	un	\$ 4.297,00	\$	81.643,00		
3,00 VÁLVULAS				\$	696.704,00		
3,10 VALVULA CHEQUE-2"	1,00	un	\$ 206.532,00	\$	206.532,00		
3,20 VALVULA MARIPOSA-2"	4,00	un	\$ 122.543,00	\$	490.172,00		
4,00 BOMBA HIDRÁULICA				\$	200.000,00		
4,1 BOMBA HIDRÁULICA CENTRIFUGA AQUARIUM 0.5 HP	1	un	\$ 200.000,00	\$	200.000,00		
Total Presupuesto Costo Directo				\$	1.436.060,60		
Utilidad		5,00%		\$	71.803,03		
TOTAL + UTILIDAD		5,00%		\$	1.507.863,63		

Ilustración 87 Presupuesto Red de distribución de agua Empresa manufacturera de embragues

8.1.5 Costo del drenaje sostenible

Luego de calcular el número de módulos necesarios para el armado del tanque de almacenamiento requerido, el área de geotextil y membrana de PVC solicitada, los volúmenes de excavación necesarios y los demás elementos que componen el tanque, se realizó la cotización con la Empresa Aquatectura SAS, la cual suministro los precios solicitados vía correo electrónico.

Para la empresa productora de bienes de caucho el drenaje sostenible le cuesta \$207'195.050, la cotización se presenta en la Ilustración 88.



					
COTIZACIÓN.		N°	550.00		
		Fecha			
PROYECTO		Empresa manufacturera de embragues			
DIRECCION PROYECTO					
EMPRESA:		CONTACTO :			
DIR. COBRO:		TEL. FIJO:			
E-MAIL:		CELULAR:			
ASESOR: ANA ISABEL GIL 314-623-32-15		NT			
ítem	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	ECO CUNETA. Es un sistema constituido por una hilera enterrada de cajas y/o Celdas Atlantis, envueltas por geotextil y material granular.			\$	100,895,980.92
1.1	Suministro y Armado de Caja de drenaje Atlantis Doble de 685x880x408 mm. Zona 1	Ud	656	\$ 146,810.00	\$ 96,307,360.00
1.2	Suministro de Celda Atlantis de 52 mm, de 260X480X52 mm. Zona 1	Ud	468	\$ 9,803.00	\$ 4,588,620.92
2	Obra Civil de Instalación de Canastas			\$	94,923,876.41
2.1	Excavacion (m3)	m3	336	\$ 29,143.00	\$ 9,793,750.45
2.2	Lleno Superior: 30 cm, lleno costado de 30 cms el Lleno en material triturado angular limpio de 3/4" (ASTM D2321) (Clase 1A) (m3)	m3	172	\$ 50,034.00	\$ 8,608,770.83
2.3	Geotextil no tejido de 200 gr/M2, Polipropileno 100% virgen	m2	964	\$ 3,622.00	\$ 3,491,846.33
	Goetextil no tejido de 200 k/M2, Polipropileno 100% virgen, debajo de la celda de 52 mm	m2	58	\$ 3,622.00	\$ 211,585.65
2.4	Membrana de PVC	m2	625	\$ 62,000.00	\$ 38,730,944.14
2.5	Relleno de celdas de 52 mm, por medios manuales, con arena lavada y cribada de garmulometria 0.20-5.00 mm.	m3	624.69	\$ 54,566.00	\$ 34,086,979.00
3	Tubo de Inspección			\$	16,674.00
3.1	Tubería PVC 6"	ml	0.40	\$ 41,685.00	\$ 16,674.00
	TOTAL COSTO DIRECTO			\$	195,836,531.33
	UTILIDAD		5.0%	\$	9,791,826.57
	SUB TOTAL CON AIU			\$	205,628,357.89
	IVA SOBRE UTILIDAD		16.0%	\$	1,566,692.25
	TOTAL CON IVA			\$	207,195,050.14

Ilustración 88 Presupuesto Drenaje Sostenible Empresa manufacturera de embragues

8.1.6 Costo inversión inicial

La inversión inicial necesaria para la instalación del drenaje sostenible y la red de distribución a los procesos en la empresa manufacturera de embragues, es de \$208',702,913.77, esta se presenta en la Tabla 87.

Costo de la inversión Inicial	
Tanque de filtración y almacenamiento	\$ 207,195,050.14
Red de distribución	\$ 1,507,863.63
Total inversión	\$ 208,702,913.77

Tabla 87 Inversión inicial necesaria Empresa manufacturera de embragues

Para más detalles Anexo 1, hoja "Costos".

8.2 EMPRESA PRODUCTORA DE BIENES DE CAUCHO

8.2.1 Costos de mantenimiento

Si se realiza un uso correcto al tanque no es necesario realizar un proceso de mantenimiento, ya que este no está expuesto al sol ni a cargas por el paso del tránsito vehicular sin embargo se recomienda un procedimiento de inspección por lo menos cada 10 años.

El objetivo principal del proceso de mantenimiento posterior es verificar el nivel de sedimentación en su base, con el fin de que no se presente acumulación excesiva de sedimentación, y realizar trabajos de limpieza en los puntos donde se esté presentado esta acumulación, para la limpieza se debe vaciar el tanque y luego utilizando un equipo de succión se limpia el exceso de sedimentos (Aquaredes, 2013).

La empresa AQUAREDES tiene experiencia en la inspección y limpieza de este tipo de tanques, ya que han realizado el proceso de mantenimiento al tanque tormenta del aeropuerto José María Córdoba (Aquaredes, 2013).

En el diseño del tanque para la empresa manufacturera de embragues se pretende instalar un tubo de inspección de 6 pulgadas de diámetro para realizar el debido mantenimiento, su tamaño permite la entrada fácil de la cámara de inspección de alta definición, la cual permite visualizar con precisión los fenómenos encontrados (Aquaredes, 2015).

El señor Jorge Mario Merino, gerente general de la empresa AQUAREDES, informa mediante comunicación personal (llamada telefónica 5 de octubre de 2015) que en la empresa se realiza el cobro de mantenimiento por hora de trabajo, por lo cual este costo varía según las condiciones del terreno, y la cantidad de sedimentos encontrados; ya que las condiciones del terreno en la empresa productora de bienes de caucho son buenas, es de fácil acceso y cuenta con un área amplia disponible para la ubicación de los equipos, se estima que la duración de la inspección sería de aproximadamente dos horas. La duración de la limpieza depende del resultado de la inspección por lo cual no se puede hacer una estimación tan aproximada como en el caso anterior, pero por tratarse de agua lluvia se espera la presencia de sedimentos en el tanque y se podría decir que la duración de la limpieza del tanque sería de mínimo cuatro horas, ya que el tanque es de mayor tamaño.

Tabla 88 Costo mantenimiento Empresa productora de bienes de caucho

Costo mantenimiento					
	Duración estimada (hora)	\$/hora	\$	IVA (16%)	Total
Inspección	2	\$ 135,000.00	\$ 270,000.00	\$ 43,200.00	\$ 313,200.00
Limpieza	4	\$ 95,000.00	\$ 380,000.00	\$ 60,800.00	\$ 440,800.00
					\$ 754,000.00

Fuente: (Aquaredes, llamada telefónica 5 de octubre de 2015)

El costo total estimado para el mantenimiento anual en la empresa es de \$ 754,000; el detalle se muestra en la Tabla 88.

8.2.2 Costos de operación

El agua lluvia es un recurso gratuito, los costos de operación están representados en el gasto de energía de la bomba hidráulica, la cual tiene una potencia de un HP, y estará encendida durante 8 horas cada mes para bombear el agua hacia los procesos que necesiten del agua lluvia.

Las tarifa industrial y comercial por kwh que cobra Empresas Públicas de Medellín para Octubre de 2015 es de \$ 516.49 (EPM, 2015), el cálculo del costo mensual y anual de la operación de la bomba hidráulica se presenta en la Tabla 84.

Tabla 89 Costo de operación Bomba Hidráulica Empresa productora de bienes de caucho

Costo de operación Bomba	
Potencia (HP)	1
Potencia (kw)	0.74569
Tiempo (h)	7
Precio unitario (Kwh)	\$ 516.49
Precio total mensual	\$ 2,695.99
Precio total anual	\$ 32,351.88

8.2.3 Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante

Tomando la cifra de la variación promedio por año de EPM: 4,606% (Tabla 90), se parte de la Tabla 62, y se muestra a continuación, en la

Tabla 91, el ahorro anual de la empresa con y sin el drenaje.

Tabla 90 Variación en tarifas Empresa productora de bienes de caucho

VARIACIÓN EN TARIFAS EMPRESA PRODUCTORA DE BIENES DE CAUCHO		
Año	Tarifa	Variación
2009	\$ 1.299,50	
2010	\$ 1.441,98	10,96%

2011	\$ 1.488,46	3,22%
2012	\$ 1.535,19	3,14%
2013	\$ 1.535,54	0,02%
2014	\$ 1.591,08	3,62%
2015	\$ 1.697,15	6,67%
PROMEDIO		4,606%

Tabla 91 Costo del agua potable para cubrir la demanda faltante

	Mes	Abastecimiento agua potable (m ³)	Precio/m ³	Precio total mes	Precio sin el drenaje	Ahorro total
AÑO 1	ENERO	78,98	\$ 1.773	\$ 140.015	\$ 140.015	\$ 1.177.294
	FEBRERO	6,54		\$ 11.592	\$ 140.015	
	MARZO	0,00		\$ -	\$ 140.015	
	ABRIL	0,00		\$ -	\$ 140.015	
	MAYO	4,23		\$ 7.497	\$ 140.015	
	JUNIO	78,71		\$ 139.537	\$ 140.015	
	JULIO	71,71		\$ 127.125	\$ 140.015	
	AGOSTO	34,81		\$ 61.707	\$ 140.015	
	SEPTIEMBRE	8,69		\$ 15.412	\$ 140.015	
	OCTUBRE	0,00		\$ -	\$ 140.015	
	NOVIEMBRE	0,00		\$ -	\$ 140.015	
	DICIEMBRE	0,00		\$ -	\$ 140.015	
AÑO 2	ENERO	0,00	\$ 1.861	\$ -	\$ 147.015,64	\$ 1.472.274
	FEBRERO	0,00		\$ -	\$ 147.016	
	MARZO	0,00		\$ -	\$ 147.016	
	ABRIL	0,00		\$ -	\$ 147.016	
	MAYO	0,00		\$ -	\$ 147.016	
	JUNIO	47,71		\$ 84.584	\$ 147.016	
	JULIO	71,71		\$ 127.125	\$ 147.016	
	AGOSTO	34,81		\$ 64.793	\$ 147.016	
	SEPTIEMBRE	8,69		\$ 15.412	\$ 147.016	
	OCTUBRE	0,00		\$ -	\$ 147.016	
	NOVIEMBRE	0,00		\$ -	\$ 147.016	
	DICIEMBRE	0,00		\$ -	\$ 147.016	

8.2.4 Costo de la red de distribución

La cotización para la red de distribución se realiza con los precios de la empresa INHISA(Ingeniería hidráulica y sanitaria), suministrados por Constructora CONCONCRETO vía correo electrónico, para el suministro e instalación de cada uno de los componentes de la red; la cotización se presenta en la Ilustración 89.



		PRESUPUESTO					
	Item	Cantidad	Unidad	Valor unitario			
1,00	TUBERÍAS				✓	\$	525.448,00
1,10	TUBERIA PVC-P RDE-21 DE 2"	56,00	ml	\$ 9.383,00		\$	525.448,00
2,00	ACCESORIOS				✓	\$	30.079,00
2,30	ACCESORIO PVC-P DE 2"	7,00	un	\$ 4.297,00		\$	30.079,00
3,00	VÁLVULAS				✓	\$	329.075,00
3,10	VALVULA CHEQUE-2"	1,00	un	\$ 206.532,00		\$	206.532,00
3,20	VALVULA MARIPOSA-2"	1,00	un	\$ 122.543,00		\$	122.543,00
4,00	BOMBA HIDRÁULICA					\$	429.900,00
4,1	BOMBA HIDRÁULICA CENTRIFUGA CARACOL (1HP)	1	un	\$ 429.900,00		\$	429.900,00
Total Presupuesto Costo Directo						\$	1.314.502,00
Utilidad						\$	65.725,10
TOTAL + UTILIDAD						\$	1.380.227,10

Ilustración 89 Presupuesto Red de distribución de agua Empresa manufacturera de embragues

8.2.5 Costo total del drenaje sostenible

Luego de calcular el número de módulos necesarios para el armado del tanque de almacenamiento requerido, el área de geotextil y membrana de PVC solicitada, los volúmenes de excavación necesarios y los demás elementos que componen el tanque, se realizó la cotización con la Empresa Aquatectura SAS, la cual suministro los precios solicitados vía correo electrónico.

Para la empresa productora de bienes de caucho el drenaje sostenible le cuesta \$318'425.062, la cotización se presenta en la Ilustración 90.



							
COTIZACIÓN.				N°	550.00		
				Fecha			
PROYECTO				Empresa productora de bienes de caucho			
DIRECCION PROYECTO							
EMPRESA:				CONTACTO :			
DIR. COBRO:				TEL. FJO:			
E-MAIL:				CELULAR:			
ASESOR: ANA ISABEL GIL 314-623-32-15				NIT			
ítem	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL		
1	ECO CUNETA. Es un sistema constituido por una hilera enterrada de cajas y/o Celdas Atlantis, envueltas por geotextil y material granular.				\$	198,836,368.50	
1.1	Suministro y Armado de Caja de drenaje Atlantis Doble de 685x880x408 mm. Zona 1	Ud	1,305	\$ 146,810.00	\$	191,587,050.00	
1.2	Suministro de Celda Atlantis de 52 mm, de 260X480X52 mm. Zona 1	Ud	740	\$ 9,803.00	\$	7,249,318.50	
2	Obra Civil de Instalación de Canastas				\$	102,115,825.83	
2.1	Excavacion (m3)	m3	619	\$ 29,143.00	\$	18,049,759.16	
2.2	Lleno Superior: 30 cm, lleno costado de 30 cms el Lleno en material triturado angular limpio de 3/4" (ASTM D2321) (Clase 1A) (m3)	m3	293	\$ 50,034.00	\$	14,665,037.69	
2.3	Geotextil no tejido de 200 gr/M2, Polipropileno 100% virgen	m2	1,671	\$ 3,622.00	\$	6,051,308.62	
	Geotextil no tejido de 200 k/M2, Polipropileno 100% virgen, debajo de la celda de 52 mm	m2	92	\$ 3,622.00	\$	334,272.93	
2.4	Membrana de PVC	m2	1,013	\$ 62,000.00	\$	62,779,768.51	
2.5	Relleno de celdas de 52 mm, por medios manuales, con arena lavada y cribada de granulometria 0,20-5,00 mm.	m3	4.32	\$ 54,566.00	\$	235,678.92	
3	Tubo de Inspección				\$	16,674.00	
3.1	Tubería PVC 6"	ml	0.40	\$ 41,685.00	\$	16,674.00	
TOTAL COSTO DIRECTO					\$	300,968,868.33	
UTILIDAD			5.0%		\$	15,048,443.42	
SUB TOTAL CON AIU					\$	316,017,311.74	
IVA SOBRE UTILIDAD			16.0%		\$	2,407,750.95	
TOTAL CON IVA					\$	318,425,062.69	
Notas:							
como bombeos o desarenadores que se requieran Se supone que el proyectista resolverá todos los detalles de ubicación de redes de agua, alcantarillado, gas y demás							

Ilustración 90 Presupuesto Drenaje Sostenible Empresa productora de bienes de caucho

8.2.6 Costo inversión inicial

La inversión inicial necesaria para la instalación del drenaje sostenible y la red de distribución a los procesos en la empresa manufacturera de embragues, es de \$319',805,289.79, esta se presenta en la Tabla 92.

Tabla 92 Inversión inicial necesaria Empresa manufacturera de embragues

Costo de la inversión Inicial	
Tanque de filtración y almacenamiento	\$ 318,425,062.69
Red de distribución	\$1,380,227.10
Total inversión	\$319,805,289.79

Para más detalles Anexo 2, hoja "Costos".

9. VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

Para realizar la viabilidad técnico-económica de este proyecto se analizan tres escenarios diferentes bajo el método del Valor Presente Neto (VPN), en primer lugar se muestra cual es el retorno a la inversión en condiciones normales tomando el número de años de vida útil del sistema, el segundo y tercer escenario se basan en hechos reales y se encuentran una serie de condiciones para que en estos casos el sistema sea económicamente viable.

9.1 ESCENARIO 1: CONDICIONES NORMALES

La empresa que suministra el agua potable en el Valle de Aburrá es EPM, y tiene tarifas para las industrias dependiendo de su consumo mensual y ubicación, como se observa en la Tabla 8 Costo mensual del suministro de agua. Estas tarifas son establecidas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico-CRA, luego las empresas de servicios públicos domiciliarios fijan los costos de referencias que se toman como base para fijar las tarifas y por último la entidad tarifaria local las aprueba (Dirección Comercial Aguas y Saneamiento EPM, 2014), estas van aumentando año tras año para cada empresa y se observa un porcentaje de aumento de 3,146% para la Empresa manufacturera de embragues y de 4,606% para la Empresa productora de bienes de caucho, estos datos se muestran en la Tabla 85 y en la Tabla 90.

La empresa Aquatectura, vende los Módulos Flow-Tank y Celdas de Drenaje en el país y sus proveedores se encuentran en Chile y Australia por lo que cada ítem trae sus costos de importación más los márgenes de ganancia del proveedor y de Aquatectura. Actualmente el costo por unidad de los módulos Flow-Tank es de \$146.810 y de las Celdas de Drenaje es de \$9.803. En este análisis se hace el costeo de los ítems por su precio actual, asegurando que cuando se adquieran van a tener este precio.

Para el análisis de este escenario se utilizan los porcentajes de variación de la tarifa del suministro de agua encontradas anteriormente, se halla el costo total del sistema incluyendo costos de mantenimiento cada 10 años y costos de operación anuales y se utiliza una tasa de descuento del 12%, estos datos se encuentran en la Tabla 93 y la Tabla 95.

En condiciones normales se puede observar en la Tabla 94 y la Tabla 96 que en 50 años el proyecto no es viable en ninguna de las dos empresas, debido al alto costo del sistema y el bajo costo de la tarifa de suministro de agua potable y su variación. Para una empresa la cual no tenga requerimientos legales de contar con gestión de aguas lluvias, financieramente, no le conviene dejar de utilizar el agua potable con su bajo costo y variación por m³ a lo largo de los años.

9.1.1 Empresa manufacturera de embragues

Tabla 93 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 1- Empresa manufacturera de embragues

Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 1- Empresa manufacturera de embragues	
Tarifa agua potable EPM (m ³) de 2015	\$ 1.562,80
Porcentaje de variación	3,146%
Costo del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	\$ 208.702.914
Ahorro año 1	\$ 1.129.225
Tasa de descuento	12%

Tabla 94 VPN escenario 1 - CN – Empresa manufacturera de embragues

VPN ESCENARIO 1 CN - EMPRESA MANUFACTURERA DE EMBRAGUES					
AÑO		AÑO		AÑO	
-	-\$208.702.914	17	\$2.052.863	34	\$3.488.860
1	\$1.110.738	18	\$2.118.038	35	\$3.599.219
2	\$1.282.992	19	\$2.185.263	36	\$3.713.049
3	\$1.323.943	20	\$1.610.804	37	\$3.830.461
4	\$1.366.182	21	\$2.326.126	38	\$3.951.568
5	\$1.409.750	22	\$2.399.899	39	\$4.076.485
6	\$1.454.690	23	\$2.475.993	40	\$3.561.533
7	\$1.501.043	24	\$2.554.482	41	\$4.338.234
8	\$1.548.855	25	\$2.635.440	42	\$4.475.318
9	\$1.598.171	26	\$2.718.945	43	\$4.616.715
10	\$1.005.239	27	\$2.805.078	44	\$4.762.561
11	\$1.701.507	28	\$2.893.921	45	\$4.912.996
12	\$1.755.626	29	\$2.985.559	46	\$5.068.164
13	\$1.811.449	30	\$2.436.281	47	\$5.228.215
14	\$1.869.027	31	\$3.177.577	48	\$5.393.301
15	\$1.928.418	32	\$3.278.141	49	\$5.563.582
16	\$1.989.677	33	\$3.381.869	50	\$5.095.421
VPN			-\$195.259.850,50		

Para más detalles ver Anexo 1, hoja “VPN-Escenario 1-CN”.

9.1.2 Empresa productora de bienes de caucho

Tabla 95 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 1 - Empresa productora de bienes de caucho

Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 1 - Empresa productora de bienes de caucho	
Tarifa agua potable EPM (m ³) de 2015	\$ 1.694,73
Porcentaje de variación	4,606%
Costo del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	\$ 317.397.539
Ahorro año 1	\$ 1.177.294
Tasa de descuento	12%

Tabla 96 VPN escenario 1 - CN - Empresa productora de bienes de caucho

VPN escenario 1 - CN - Empresa productora de bienes de caucho					
AÑO		AÑO		AÑO	
-	-\$317.397.539	17	\$3.007.690	34	\$6.488.147
1	\$1.158.807	18	\$3.147.075	35	\$6.787.843
2	\$1.521.600	19	\$3.292.881	36	\$7.101.342
3	\$1.592.537	20	\$2.801.603	37	\$7.429.281
4	\$1.666.741	21	\$3.604.949	38	\$7.772.326
5	\$1.744.362	22	\$3.771.845	39	\$8.131.170
6	\$1.825.559	23	\$3.946.428	40	\$7.862.744
7	\$1.910.496	24	\$4.129.052	41	\$8.899.207
8	\$1.999.345	25	\$4.320.087	42	\$9.309.956
9	\$2.092.286	26	\$4.519.922	43	\$9.739.624
10	\$1.545.708	27	\$4.728.961	44	\$10.189.082
11	\$2.291.208	28	\$4.947.628	45	\$10.659.243
12	\$2.397.593	29	\$5.176.368	46	\$11.151.059
13	\$2.508.878	30	\$4.771.843	47	\$11.665.528
14	\$2.625.288	31	\$5.665.939	48	\$12.203.694
15	\$2.747.060	32	\$5.927.763	49	\$12.766.648
16	\$2.874.441	33	\$6.201.648	50	\$12.711.731
VPN		-\$298.862.050,47			

Para más detalles ver Anexo 2, hoja "VPN-Escenario 1-CN".

9.2 Escenario 2: DESARROLLO TECNOLÓGICO POR PARTE DE LA EMPRESA AQUATECTURA Y AUMENTO CONSIDERABLE DEL PRECIO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN EL PAÍS DEBIDO A LA ESCASEZ

Actualmente la empresa Aquatectura comercializa los módulos Flow-Tank y las Celdas de Drenaje de 52mm los cuales provienen de sus proveedores en Chile y Australia respectivamente, esta empresa lleva un año analizando realizar un desarrollo tecnológico que consiste en fabricar los módulos y las celdas en el país. Para este escenario se trabaja con el supuesto que los costos de estos ítems se reducen en un 25%, es decir que el costo por unidad de los módulos Flow-Tank sería de \$110.107,5 y de las Celdas de Drenaje es de \$7.352,25.

Debido a la abundancia del recurso hídrico en Colombia, el precio del agua es bajo, en contraste con el precio que pagan en otros países del mundo donde existe escasez, sin embargo debido a fenómenos como las altas temperaturas, sequías y el uso desmedido del agua, las entidades reguladoras colombianas están viendo la necesidad de implementar programas de racionamiento de agua en diferentes municipios, actualmente 210 municipios de Colombia presentan racionamiento y otros 300 municipios están en riesgo de presentarlo (Portafolio, 2015), a pesar de ser un país rico hídricamente no está exento de sufrir las condiciones de escasez que se están presentando en el resto del mundo, casos como el de Estados Unidos donde en los últimos cinco años el precio del agua ha aumentado 27%, en Reino Unido un 32%, en Australia 45%, África del sur un 50% y en Canadá un 58%, en los últimos 5 años (TERRA, 2007); la escasez de agua es una realidad que se vive en el mundo entero por lo cual en un futuro cercano comenzará a ser administrada según su valor real, como un recurso escaso y sustentador de vida. Según las anteriores observaciones, y suponiendo una situación parecida a los casos anteriores, en el escenario donde el racionamiento de agua por escasez alce los precios del agua potable en Colombia un porcentaje anual similar al de los países mencionados, se realiza el análisis para determinar la viabilidad técnico económica con esta suposición.

Se observa en la Tabla 97 y Tabla 99 los datos con los que se trabaja para hallar el VPN de ambas empresas en este escenario. Son viables los proyectos (Tabla 98 y

Tabla 100) tomando como variación anual de la tarifa de suministro de agua potable un 46% para la Empresa manufacturera de embragues y un 51% para la Empresa productora de bienes de caucho, en un periodo de 15 años.

9.2.1 Empresa manufacturera de embragues

Tabla 97 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 2 - - Empresa manufacturera de embragues

Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 2	
Tarifa agua potable EPM (m ³) de 2015	\$ 1.562,80
Porcentaje de variación anual	44%
Costo del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	\$ 156.710.400
Ahorro año 1	\$ 1.129.225
Tasa de descuento	12%

Tabla 98 VPN Escenario 2 - Empresa manufacturera de embragues

VPN Escenario 2 - Empresa manufacturera de embragues			
AÑO		AÑO	
-	-\$156.710.400	8	\$15.792.024
1	\$1.110.738	9	\$22.669.596
2	\$1.792.163	10	\$31.895.113
3	\$2.579.796	11	\$46.701.381
4	\$3.710.049	12	\$67.024.524
5	\$5.331.962	13	\$96.188.234
6	\$7.659.407	14	\$138.038.157
7	\$10.999.291	15	\$198.092.797
VPN		\$3.717.059,67	

Para más detalles ver Anexo 1, hoja "VPN-Escenario 2-Prom. Aumento".

9.2.2 Empresa productora de bienes de caucho

Tabla 99 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 2 – Empresa productora de bienes de caucho

Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 2 – Empresa productora de bienes de caucho	
Tarifa agua potable EPM (m ³) de 2015	\$ 1.694,73
Porcentaje de variación	47,5%
Costo del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	\$ 251.802.427

Ahorro año 1	\$ 1.177.294
Tasa de descuento	12%

Tabla 100 VPN escenario 2 - Empresa productora de bienes de caucho

VPN escenario 2 - Empresa productora de bienes de caucho			
AÑO		AÑO	
-	-\$251.802.427	8	\$22.344.657
1	\$1.158.807	9	\$32.967.150
2	\$2.153.118	10	\$47.991.528
3	\$3.184.630	11	\$71.745.890
4	\$4.706.110	12	\$105.833.969
5	\$6.950.294	13	\$156.113.885
6	\$10.260.465	14	\$230.276.762
7	\$15.142.967	15	\$339.667.005
VPN		\$1.305.642,77	

Para más detalles ver Anexo 2, hoja “VPN-Escenario 2-Prom. Aumento”.

9.3 ESCENARIO 3: DESARROLLO TECNOLÓGICO POR PARTE DE LA EMPRESA AQUATECTURA, VIDA ÚTIL CONVENCIONAL DE UN ACTIVO Y EL PORCENTAJE DE AUMENTO ANUAL CORRESPONDIENTE

Actualmente la empresa Aquatectura comercializa los módulos Flow-Tank y las Celdas de Drenaje de 52mm los cuales provienen de sus proveedores en Chile y Australia respectivamente, esta empresa lleva un año analizando realizar un desarrollo tecnológico que consiste en fabricar los módulos y las celdas en el país. Para este escenario se trabaja con el supuesto que los costos de estos ítems se reducen en un 25%, es decir que el costo por unidad de los módulos Flow-Tank sería de \$110.107,5 y de las Celdas de Drenaje es de \$7.352,25.

En este escenario se quiere comparar cuanto sería el aumento anual en la tarifa de suministro de agua potable en un periodo de tiempo igual a 20 años, que es el tiempo en el que un activo fijo tipo inmueble se deprecia según el Decreto Reglamentario 3019 de 1989. (Congreso De La República de Colombia, 1989). En ambos casos se observa (Tabla 102 y Tabla 104) que el proyecto es viable, cuando se tiene un porcentaje de variación anual en la tarifa de suministro de agua potable del 34% y el 37% en la Tabla 101 y Tabla 103 respectivamente, correspondientes a la Empresa manufacturera de embragues y la Empresa productora de bienes de caucho. Estas cifras no son salidas de contexto, pues anteriormente se habló de un aumento hasta del 51% para una de las empresas.

9.3.1 Empresa manufacturera de embragues

Tabla 101 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues

Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues	
Tarifa agua potable EPM (m ³) de 2015	\$ 1.562,80
Porcentaje de variación anual	32%
Costo del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	\$ 156.710.400
Ahorro año 1	\$ 1.129.225
Tasa de descuento	12%

Tabla 102 VPN Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues

VPN Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues			
AÑO		AÑO	
-	-\$156.710.400	11	\$20.245.361
1	\$1.110.738	12	\$26.729.792
2	\$1.647.059	13	\$35.289.241
3	\$2.180.033	14	\$46.587.714
4	\$2.883.560	15	\$61.501.699
5	\$3.812.215	16	\$81.188.158
6	\$5.038.039	17	\$107.174.284
7	\$6.656.128	18	\$141.475.971
8	\$8.792.004	19	\$186.754.197
9	\$11.611.361	20	\$245.877.656
10	\$14.689.113		
VPN		\$5.133.041,79	

Para más detalles ver Anexo 1, hoja “VPN-Escenario 2-Prom. Aumento”.

Para más detalles ver Anexo 1, hoja “VPN-Escenario 3- Depreciación”.

9.3.2 Empresa productora de bienes de caucho

Tabla 103 Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 3 - Empresa productora de bienes de caucho

Datos para realizar la viabilidad económica - Escenario 3 - Empresa productora de bienes de caucho	
Tarifa agua potable EPM (m ³) de 2015	\$ 1.694,73
Porcentaje de variación	37%
Costo del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	\$ 251.802.427
Ahorro año 1	\$ 1.177.294
Tasa de descuento	12%

Tabla 104 VPN escenario 3 Empresa productora de bienes de caucho

VPN Escenario 3 - Empresa manufacturera de embragues			
AÑO		AÑO	
-	-\$251.802.427	11	\$29.583.878
1	\$1.158.807	12	\$39.944.705
2	\$1.969.083	13	\$53.931.822
3	\$2.664.733	14	\$72.814.430
4	\$3.603.860	15	\$98.305.951
5	\$4.871.681	16	\$132.719.505
6	\$6.583.240	17	\$179.177.802
7	\$8.893.845	18	\$241.896.503
8	\$12.013.161	19	\$326.566.749
9	\$16.224.237	20	\$440.227.782
10	\$21.265.390		
VPN		\$9.393.168,66	

Para más detalles ver Anexo 2, hoja “VPN-Escenario 3- Depreciación”.

9.4 OTROS ESCENARIOS

9.4.1 Situación mundial en la actualidad

A continuación se enumeran algunas situaciones reales donde la captación de agua lluvia es un requerimiento en tres países de diferentes continentes, esto puede dar una idea de

lo que en un futuro pudiera ser Colombia, lo que ayudaría a que un proyecto como este sea viable en las empresas del país.

Actualmente, a países como Australia, Estados Unidos y Alemania los rigen leyes sobre la captación y uso del agua lluvia. En Australia existe una ley que asegura que las nuevas casas que construyan deben tener los diseños más eficientes y actualizados en energía y agua y en cada estado hay leyes más específicas como en Victoria de captar el agua lluvia y utilizarla para los baños, en South Australia de construir un tanque de captación en las casas, en Sídney y New South Wales de reducción del 40% en el Impuesto de Construcción y Sostenibilidad por contar con una captación de agua lluvia para usarla en lavado de ropa u otros usos fuera del hogar, incluso Queensland ofreció más de 1500 dólares para la compra e instalación de tanques almacenadores de agua lluvia. En algunos estados de Estados Unidos existen incentivos para que los habitantes reciban cuando cuenten con un sistema de captación de agua lluvia, en el estado de Arizona ofrecen un crédito de hasta 250 dólares para los habitantes que compren un sistema que capte agua lluvia o aguas residuales para tratar, en New México todas las casas de más de 2500 pies cuadrados deben contar con un sistema de captación de agua lluvia en cisternas para utilizar como riego de jardines y Texas exime de pagar impuestos a quienes tengan en su casa alguna forma de conservación de agua. En Alemania existen los Impuestos de Lluvia los cuales se cobran dependiendo de la cantidad de área en techos con superficie impermeable, estos impuestos se reducen a quienes tenga viviendas con una superficie porosa, es decir, apta para recoger agua lluvia. (USA Centre for Science and Environment, n.d.). Esta ley lleva a las empresas a buscar alternativas diferentes a un tanque convencional de almacenamiento por lo que un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible es una muy buena opción ante sus necesidades. Este escenario sería probable cuando en Colombia exista una ley que obligue a las empresas a captar el agua lluvia y dejarla infiltrar lentamente, ya que si las empresas cuentan con SUDS en sus instalaciones, ya teniendo el agua lluvia almacenada pueden comenzar a utilizarla para sus procesos y sería un ahorro de costos de una manera muy práctica.

9.4.2 Viabilidad económica del método tradicional de recolección de agua

Dado el caso que las empresas interesadas en la recolección de agua lluvia obtén por la instalación de un sistema de captación de agua lluvia tradicional, se analiza la viabilidad utilizando el costo de este sistema, teniendo en cuenta tanto el presupuesto de la inversión inicial como los costos asociados al mantenimiento y operación; como valor base para este análisis se toman los datos del presupuesto obtenidos en una tesis de grado de la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia, en la cual se realizó una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia tradicional para una institución educativa (Palacio, 2010), el presupuesto se observa en la Ilustración 91.

ITEM	VALOR (\$)
Tanque de almacenamiento de 200m ³	83'015.000
Interceptor de primeras aguas de 2000L	705.000
Sistema de bombeo	4'722.000
Sistema de recolección y conducción	1'161.000
Red de distribución	4'339.000
Mantenimiento del tanque de almacenamiento (2 veces al año)	400.000
Operación y mantenimiento del sistema de bombeo	4'700.000
TOTAL	99'042.000

Ilustración 91 Presupuesto Sistema Tradicional

Fuente: Palacio, 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia

Para realizar el VPN como en ejercicios anteriores, se tomará del anterior presupuesto el costo del tanque de almacenamiento de concreto de 200 m³, el interceptor de primeras aguas y el valor del mantenimiento del tanque (dos veces al año). La red de distribución y los costos de operación del sistema se mantendrán iguales ya que estas dependen exclusivamente de las condiciones del lugar.

Tabla 105 Costo del sistema tradicional para el caso

Inversión inicial	
Tanque de almacenamiento de concreto (200 m ³)	\$ 83.015.000,00
Red de distribución	\$ 1.507.863,63
Total inversión inicial	\$ 87.522.863,63
Otros costos	
Costo de mantenimiento del tanque (cada dos años)	\$ 400.000,00
Costos de operación (anual)	\$ 18.486,79

Para el análisis de la viabilidad económica de este caso se calcula el valor presente neto (VPN), utilizando como ingresos anuales el ahorro de agua obtenido, para este análisis se utilizan los datos obtenidos para la empresa manufacturera de embragues. El resultado del VPN se presenta en la Tabla 106, dando un valor negativo a 50 años, por lo que se puede concluir que a pesar de que la inversión sea menor que la necesaria para la instalación de un SUDS, sigue siendo inviable para el caso de estudio, ya que el costo de la obtención de agua en el país es muy barato en comparación con la inversión del sistema.

Tabla 106 VPN Instalación Sistema tradicional

VPN Instalación sistema tradicional					
AÑO		AÑO		AÑO	
-	-\$84.522.864	17	\$2.052.863	34	\$3.088.861
1	\$1.110.738	18	\$1.718.038	35	\$3.599.219
2	\$882.992	19	\$2.185.263	36	\$3.313.049
3	\$1.323.943	20	\$1.854.604	37	\$3.830.461
4	\$966.182	21	\$2.326.126	38	\$3.551.568
5	\$1.409.750	22	\$1.999.899	39	\$4.076.485
6	\$1.054.690	23	\$2.475.993	40	\$3.805.333
7	\$1.501.043	24	\$2.154.482	41	\$4.338.234
8	\$1.148.855	25	\$2.635.440	42	\$4.075.318
9	\$1.598.171	26	\$2.318.945	43	\$4.616.715
10	\$1.249.039	27	\$2.805.078	44	\$4.362.561
11	\$1.701.507	28	\$2.493.921	45	\$4.912.996
12	\$1.355.626	29	\$2.985.560	46	\$4.668.164
13	\$1.811.449	30	\$2.680.081	47	\$5.228.215
14	\$1.469.027	31	\$3.177.577	48	\$4.993.301
15	\$1.928.418	32	\$2.878.141	49	\$5.563.582
16	\$1.589.677	33	\$3.381.869	50	\$5.339.221
VPN			-\$72.342.024,61		

Para más detalles ver Anexo 3, hoja “VPN – TANQUE CONCRETO”

9.4.3 Cambio en el 200% de la demanda mensual de agua

Se puede pensar que la razón por la cual en condiciones normales el sistema de drenaje sostenible no es viable para el caso de estudio es por el bajo consumo de agua con potencial de reemplazo de agua lluvia tienen las empresas evaluadas, por lo cual se realiza un ejercicio donde se analiza que pasaría si el consumo se incrementa al doble en la empresa manufacturera de embragues, para analizar el ahorro se debe calcular primero cuanto aumenta el tanque de almacenamiento para este nuevo consumo.

Tabla 107 Aumento de la demanda de agua

	Mes	AGUA LLUVIA CAPTADA (m3)	AGUA LLUVIA DISPONIBLE (m3)	DEMANDA (m3)	ABASTECIMIENTO DE AGUA LLUVIA (m3)	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE (m3)	AGUA LLUVIA SOBRANTE (m3)	% ABASTECIMIENTO AGUA LLUVIA	% ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE	VOLUMEN DEL TANQUE NECESARIO
AÑO 1	ENERO	7.78	7.78	160.00	7.78	152.22	0.00	5%	95%	146.24
	FEBRERO	21.35	21.35	160.00	21.35	138.65	0.00	13%	87%	
	MARZO	76.07	76.07	160.00	76.07	83.93	0.00	48%	52%	
	ABRIL	73.83	73.83	160.00	73.83	86.17	0.00	46%	54%	
	MAYO	146.24	146.24	160.00	146.24	13.76	0.00	91%	9%	
	JUNIO	59.44	59.44	160.00	59.44	100.56	0.00	37%	63%	
	JULIO	29.25	29.25	160.00	29.25	130.75	0.00	18%	82%	
	AGOSTO	21.70	21.70	160.00	21.70	138.30	0.00	14%	86%	
	SEPTIEMBRE	58.50	58.50	160.00	58.50	101.50	0.00	37%	63%	
	OCTUBRE	144.36	144.36	160.00	144.36	15.64	0.00	90%	10%	
	NOVIEMBRE	86.92	86.92	160.00	86.92	73.08	0.00	54%	46%	
	DICIEMBRE	61.21	61.21	160.00	61.21	98.79	0.00	38%	62%	
AÑO 2	ENERO	7.78	7.78	160.00	7.78	152.22	0.00	5%	95%	146.24
	FEBRERO	21.35	21.35	160.00	21.35	138.65	0.00	13%	87%	
	MARZO	76.07	76.07	160.00	76.07	83.93	0.00	48%	52%	
	ABRIL	73.83	73.83	160.00	73.83	86.17	0.00	46%	54%	
	MAYO	146.24	146.24	160.00	146.24	13.76	0.00	91%	9%	
	JUNIO	59.44	59.44	160.00	59.44	100.56	0.00	37%	63%	
	JULIO	29.25	29.25	160.00	29.25	130.75	0.00	18%	82%	
	AGOSTO	21.70	21.70	160.00	21.70	138.30	0.00	14%	86%	
	SEPTIEMBRE	58.50	58.50	160.00	58.50	101.50	0.00	37%	63%	
	OCTUBRE	144.36	144.36	160.00	144.36	15.64	0.00	90%	10%	
	NOVIEMBRE	86.92	86.92	160.00	86.92	73.08	0.00	54%	46%	
	DICIEMBRE	61.21	61.21	160.00	61.21	98.79	0.00	38%	62%	

Al hacer el cambio para una mayor demanda, se puede ver en la Tabla 107 como el volumen del tanque todavía es menor al utilizado de 150 m³, lo que quiere decir que el costo del tanque de almacenamiento y filtración calculado es el mismo. Sin embargo también se puede ver que la precipitación en el lugar no es suficiente para satisfacer la demanda, por lo que ni siquiera en un mes se suple al 100%. En la Ilustración 92 se presenta la gráfica de abastecimiento de agua, donde predomina el uso de agua potable.

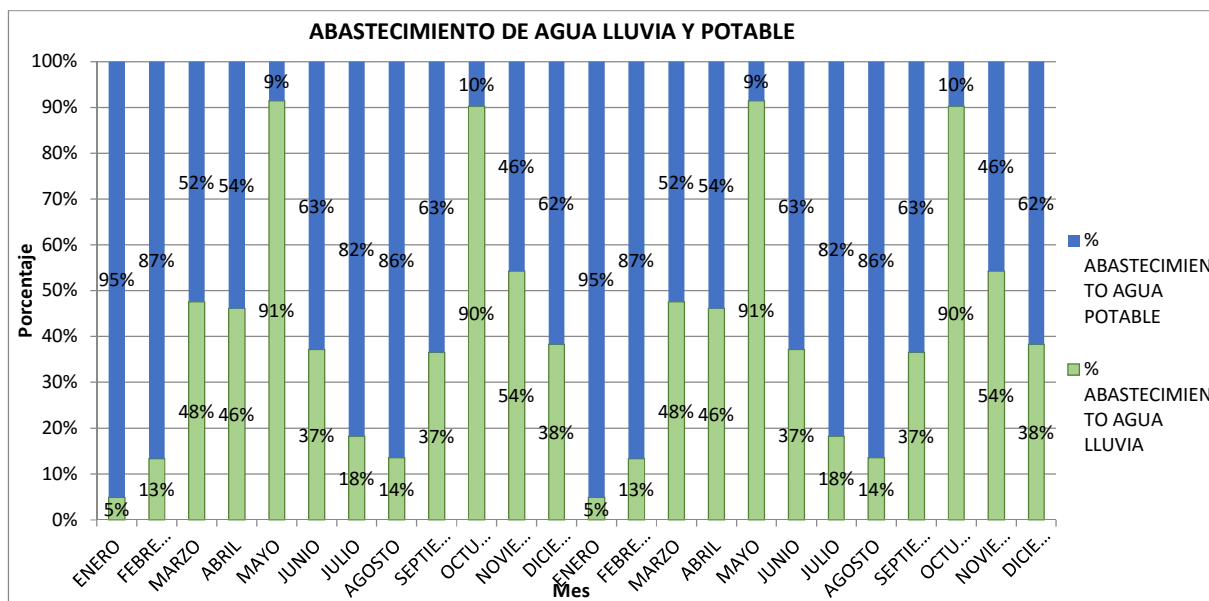


Ilustración 92 Abastecimiento agua lluvia y potable-Caso Aumento demanda

Tabla 108 Potencial de ahorro-Caso aumento demanda

	Mes	Abastecimiento agua potable (m³)	Precio/m³	Precio total mes	Precio sin el drenaje	Ahorro total
AÑO 1	ENERO	152,22	\$ 1.612	\$245.368	\$257.916	\$ 1.268.051
	FEBRERO	138,65		\$223.505	\$257.916	
	MARZO	83,93		\$135.293	\$257.916	
	ABRIL	86,17		\$138.905	\$257.916	
	MAYO	13,76		\$22.176	\$257.916	
	JUNIO	100,56		\$162.099	\$257.916	
	JULIO	130,75		\$210.768	\$257.916	
	AGOSTO	138,30		\$222.935	\$257.916	
	SEPTIEMBRE	101,50		\$163.620	\$257.916	
	OCTUBRE	15,64		\$25.218	\$257.916	
	NOVIEMBRE	73,08		\$117.803	\$257.916	
	DICIEMBRE	98,79		\$159.247	\$257.916	
AÑO 2	ENERO	152,22	\$ 1.685	\$256.410	\$269.522	\$ 1.325.113
	FEBRERO	138,65		\$233.563	\$269.522	
	MARZO	83,93		\$141.381	\$269.522	
	ABRIL	86,17		\$145.156	\$269.522	
	MAYO	13,76		\$23.174	\$269.522	
	JUNIO	100,56		\$169.393	\$269.522	
	JULIO	130,75		\$220.252	\$269.522	
	AGOSTO	138,30		\$232.967	\$269.522	
	SEPTIEMBRE	101,50		\$170.983	\$269.522	
	OCTUBRE	15,64		\$26.353	\$269.522	
	NOVIEMBRE	73,08		\$123.104	\$269.522	
	DICIEMBRE	98,79		\$166.413	\$269.522	

Para más detalles ver Anexo 3, hoja “Oferta Vs. Aumento Demanda”.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el país no existe una regulación sobre la calidad de agua que necesitan las industrias, lo que conlleva a que no haya un control para el cuidado del agua potable. Las empresas visitadas aunque tienen un departamento encargado de la gestión de agua dentro de la empresa, no han hecho una búsqueda exhaustiva sobre opciones diferentes para conseguir el agua que requieren, esta situación se asocia con la falta de conciencia ambiental de la ciudad, pues no es un secreto que al ver abundancia de agua potable no creamos necesario cuidarla. Se considera que dentro del país se debe comenzar a incluir en el día a día la conciencia ambiental y específicamente el cuidado del agua, darse cuenta que tener agua potable es un lujo y por eso no debe desperdiciarse. No se trata solamente de pensar que con el ahorro de agua en las actividades diarias se está logrando un cambio, es comenzar a valorar el agua potable y entender que no es eterna. Si lo anteriormente mencionado se logra en el país, puede existir una posibilidad que las leyes cambien y que sea reglamentario el cuidado del agua potable utilizada por parte de las industrias y aun mejor si se crea una institución cuyo objetivo sea velar por la gestión de agua en las empresas, donde se pueda hablar de agua lluvia, agua potable y su óptimo aprovechamiento.
- Según la información suministrada por las empresas visitadas, se concluye que en Medellín el método de recolección más común es la recolección por medio de techos, donde el agua es dirigida hacia canales que a través de tuberías que envían el agua hacia un tanque de concreto para el uso posterior, generalmente es baños o riego en las zonas verdes. En el Valle de Aburrá no se ha implementado ningún método de recolección innovador o diferente al tradicional lo cual representa una ventaja al ofrecer la tecnología SUDS. En cuanto a la selección del método de captación en las empresas evaluadas se decidió que al ambas empresas contar con un área significativa en techos, la captación por techos es la mejor opción en ambos casos, el área verde disponible también puede ser utilizada para captar agua lluvia
- La construcción del drenaje sostenible es viable, ya que todos sus componentes son de fácil accesibilidad y cuenta con una vida útil de 50 años, lo cual lo hace muy factible económicamente, así mismo si se realiza un buen uso del drenaje el mantenimiento es mínimo y de bajo costo; además por la ubicación del tanque y la posibilidad de filtrar toda el agua que se encuentra en su superficie, no requiere de un diseño de la conducción del agua al tanque si los bajantes la descargan en esta área, lo que minimiza la instalación y la construcción que por ser modular es muy rápida.

- La oferta de agua lluvia es fuertemente afectada por fenómenos como el del niño y la niña, la presencia de un fenómeno del niño muy fuerte hace que en ese período la oferta de agua sea muy baja, lo que significa que el agua necesaria para abastecer este debe ser suplida por la precipitación de un período anterior, esto conlleva que al diseñar el tanque de almacenamiento se tenga que doblar o triplicar en capacidad para poder permitir que en el período con mayor intensidad de lluvia se recolecte el agua requerida de otros períodos con poca precipitación, el tanque de almacenamiento de un SUDS aumenta su costo proporcionalmente a su volumen, por lo cual se puede inferir que en países como Colombia donde la precipitación es afectada constantemente por el fenómeno del niño, el volumen necesario de un tanque para poder abastecer con constancia un proceso debe ser mucho mayor que el volumen que realmente se requiere almacenar, y por lo tanto de un costo mucho más elevado que el que se esperaría si la curva de precipitación fuera menos fluctuante y con picos menos pronunciados
- Según el estudio de viabilidad económica realizado, el proyecto no es viable en la situación actual del país, por el alto costo de la tecnología propuesta y el bajo costo del agua en Colombia, sin embargo el SUDS es una alternativa técnica y económicamente viable siempre y cuando la situación del país cambie en cuanto a regulación del uso del agua, creando una legislación sobre el agua lluvia que obligue a recolectarla y aumente las tarifas de suministro de agua potable; para llegar a esto el primer paso es tener estudios como este, donde se demuestre que muchas empresas que utilizan agua potable en realidad no la necesitan y que si se encargan de buscar alternativas para el suministro de agua pueden ahorrarse costos y ayudar al medio ambiente.
- Suponiendo que las tarifas aumenten en un porcentaje de 34% anual para la empresa manufacturera de embragues y un 37% anual para la empresa productora de bienes de caucho y que además la empresa productora del drenaje realice un desarrollo tecnológico para eliminar la necesidad de importar y disminuir el costo de la inversión inicial, lo que da como resultado que a un período de 20 años el proyecto sea viable y se vea reflejado en un beneficio económico para la empresa.

ANEXOS

Anexo 1 Archivo de Excel de Empresa manufacturera de embragues

Archivo correspondiente a toda la información necesaria para realizar el trabajo de investigación, incluye: datos suministrados por la empresa de sus consumos de agua totales en los años 2013, 2014 y 2015, precipitaciones totales en la zona donde se encuentra la empresa proporcionados por el IDEAM, cálculos relacionadas con el diseño del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible, costos de este incluyendo costos de red de distribución, mantenimiento, operación y construcción y por último el cálculo del VPN en los 3 escenarios analizados con sus respectivos datos necesarios.

Anexo 2 Archivo de Excel de Empresa productora de bienes de caucho

Archivo correspondiente a toda la información necesaria para realizar el trabajo de investigación, incluye: datos suministrados por la empresa de sus consumos de agua totales en los años 2011, 2012 y 2013, precipitaciones totales en los últimos cinco años en la zona donde se encuentra la empresa proporcionados por el IDEAM, cálculos relacionadas con el diseño del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible, costos de este incluyendo costos de red de distribución, mantenimiento, operación y construcción y por último el cálculo del VPN en los 3 escenarios analizados con sus respectivos datos necesarios.

Anexo 3 Archivo de Excel del análisis de otros escenarios

Archivo correspondiente al análisis de dos situaciones alternas para explicar en cuales casos es viable la tecnología propuesta, allí mediante cálculos se explican conclusiones encontradas en el caso que la demanda creciera el doble y la viabilidad técnico-económica en el caso en el que el tanque de almacenamiento utilizado sea de concreto.

Anexo 4 Archivo de AutoCAD 3D de la Empresa manufacturera de embragues

Archivo correspondiente a la modelación 3D de los techos y la forma física de la Empresa manufacturera de embragues, se observa mediante este archivo las áreas reales de captación y forma de los techos, además de la red de distribución a los procesos.

Anexo 5 Archivo de AutoCAD 3D de la Empresa productora de bienes de caucho

Archivo correspondiente a la modelación 3D de los techos y la forma física de la Empresa productora de bienes de caucho, se observa mediante este archivo las áreas reales de captación y forma de los techos, además de la red de distribución a los procesos

Anexo 6 Archivo de AutoCAD del diseño de tanques de almacenamiento de las empresas

Archivo correspondiente al diseño completo de ambos tanques de almacenamiento de la Empresa manufacturera de embragues y la Empresa productora de bienes de caucho, allí se muestran las dimensiones del tanque de almacenamiento, las dimensiones de las Celdas de Drenaje de 52mm y las dimensiones de los Módulos Flow-Tank.

Anexo 7 Archivo de AutoCAD de la vista en planta de la Empresa manufacturera de embragues

Archivo correspondiente a la vista en planta de la empresa donde se encuentran ubicados la distribución de cada uno de los procesos.

Anexo 8 Archivo de AutoCAD de la vista en 3D y en planta de la Empresa productora de bienes de caucho

Archivo correspondiente a la vista en 3D y a la vista en planta de la empresa donde se encuentran ubicados la distribución de cada uno de los procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellán, A. (2014). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Retrieved September 2, 2014, from <http://drenajurbanosostenible.org/>
- Alcaldía mayor de BOGOTÁ DC. (2011). *SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE*. Retrieved from <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
- American Society for Testing and Materials. (1976). *Manual de aguas para usos industriales* (3rd ed.). Philadelphia.
- Aquaredes. (2013). Informe gráfico de inspección con cámara de video.
- Aquaredes. (2015). Inspección de tuberías con video. Retrieved October 6, 2015, from http://www.aquaredes.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=116
- Aquatectura. (2010). Especificaciones Técnicas Canal / Deposito Atlantis.
- Aquatectura. (2014). Catálogo Aquatectura 2014.
- Aquatectura. (2015). Catálogo Aquatectura 2015.
- Aquatectura, & Atlantis. (2015a). Guía instalación tanque.
- Aquatectura, & Atlantis. (2015b). Puntos para la certificación LEED.
- ARQUYS. (2014). Sistemas de drenaje. Retrieved September 1, 2014, from <http://www.arqhys.com/arquitectura/drenaje-sistemas.html>
- Atlantis. (2014). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds).
- Ávila García, P. (2003a). *Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en el Siglo XXI: México Desde una Perspectiva Global y Regional*. Retrieved from <http://books.google.com/books?id=kwzNB6LLILMC&pgis=1>
- Ávila García, P. (2003b). *Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en el Siglo XXI: México Desde una Perspectiva Global y Regional*.

- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de polímeros. Tema 4: Extrusión*. Alicante.
- Callister, W. D. (2002). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volume 1*. Reverte. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=gnfPV1txXiUC&pgis=1>
- Capella, F. (1997). Maquinaria de Extrusión.
- Catalogo Verde. (n.d.). Certificación LEED. Retrieved September 26, 2015, from <http://www.catalogoverde.cl/certificacion-leed-2>
- Cataluña, U. P. de. (n.d.). Intercambiadores de calor.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1994). *Captación de Agua de Lluvia en el Hogar Rural*. Turrialba.
- CEPES. (n.d.). FUENTES DE ABASTECIMIENTO. In *Agua Potable* (pp. 27–36).
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS EN CIENCIAS AGRÍCOLAS. (2007). Capítulo 4- Diseño de sistemas de captación de agua lluvia, 52.
- Comisión Nacional de Agua. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Retrieved September 2, 2014, from <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/01AlcantarilladoPluvial.pdf>
- Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía. (2002). Guía de vapor para la industria.
- Congreso De La República de Colombia. Ley 9 De 1979 “Por la cual se dictan medidas sanitarias” (1979). Colombia.
- Congreso De La República de Colombia. Decreto Reglamentario 3019 de 1989 (1989).
- Congreso De La República de Colombia. Ley 373 de 1997 (1997).
- Consejería de Economía y Hacienda. (2012). *Guía Básica: Calderas Industriales Eficientes*.
- Cooperación financiera internacional. (2007). FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE METAL, PLÁSTICO Y CAUCHO, 1–31.
- DANE. (2010). *Beneficios económicos obtenidos por incentivos tributarios y fiscales de carácter ambiental, según tipo de incentivo*.

- DANE. (2012). Boletín de Prensa: Encuesta Ambiental Industrial 2012. Retrieved May 14, 2015, from http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/EAI/2012/bol_EAI_2012def.pdf
- Delgado, G. C. (2006). *Agua: usos y abusos: la hidroelectricidad en Mesoamérica*. UNAM. Retrieved from https://books.google.com/books?id=_ViFEyHow0sC&pgis=1
- Díez, P. F. (n.d.). TURBINAS HIDRÁULICAS.
- Dirección Comercial Aguas y Saneamiento EPM. (2014). Tarifas para servicios de acueducto y aguas residuales Junio 2015, 5.
- EDL Ltda Ingenieros consultores. (2010). Informe de geotecnia Puente de la 4sur, 1–39.
- EPM. (2015). Tarifas y costo de Energía Eléctrica. Retrieved October 23, 2015, from [http://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/tarifas/2015/Publicaci%C3%B3n](http://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/tarifas/2015/Publicaci%C3%B3n%20de%20tarifas%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20junio%202015.pdf) Octubre 13 de 2015.pdf
- Flores, F. M., Hernández, J. R., Rey, F. M., Velasco, E. G., & Tejero, A. G. (2011). Acondicionamiento de Espacios con Enfriamiento Evaporativo mediante Ladrillos Cerámicos, 4(1), 1–14.
- GiS. (2015). Válvula de Retención(Cheques). Retrieved October 22, 2015, from http://www.gis.com.co/catalogo/index.php?route=product/category&path=38_58
- Gobierno de España. (2015). PRESENTACIONES SECTORIALES: SECTOR DE PRODUCTOS DE MINERALES NO METÁLICOS.
- Hernández Martínez, F. (n.d.). Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. *Director*.
- Hidroagua. (2014). Osmosis Inversa. Retrieved April 21, 2015, from <http://www.hidroagua.com.mx/osmosis.htm>
- ICONTEC. (2004). Código Colombiano de Fontanería.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010. Capítulo 5: Estimación De La Demanda De Agua*. Bogotá DC.
- IDEAM. (2015). CONDICIONES HIDROCLIMÁTICAS ACTUALES Y PREDICCIÓN CLIMÁTICA PARA LOS PRÓXIMOS MESES. Retrieved July 31, 2015, from [file:///C:/Users/usuario/Google Drive/Trabajo de grado Paula y Susana/Informaci%C3%B3n IDEAM/CONDICIONES CLIMATICAS ACTUALES mayo 11 \(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Google%20Drive/Trabajo%20de%20grado%20Paula%20y%20Susana/Informaci%C3%B3n%20IDEAM/CONDICIONES%20CLIMATICAS%20ACTUALES%20mayo%202015%20(1).pdf)

- Ignacio Gómez IHM SAS. (2015). Catálogo virtual Bombas y Motobombas. Retrieved October 22, 2015, from <http://www.igihm.com/>
- Inexmoda. (2015). Medellín ciudad con presente y futuro. Retrieved April 19, 2015, from <http://www.inexmoda.org.co/Colombia/NuestraciudadMedell%C3%ADn/tabid/276/Default.aspx>
- iWater. (2014). Industria Automotriz. Retrieved April 21, 2015, from <http://www.plantas-purificadoras-de-aguas.com.mx/aplicaciones/industria-automotriz/>
- Junta de Castilla y León. (2010). *Manual Técnico de Diseño y Cálculo de Redes de Vapor: Eficiencia energética en redes de vapor*.
- LABORATORIO DE PRODUCCION. U.C de Ingenieria. (2008). Tratamientos térmicos, 22.
- Lamúa, M. (2013). La refrigeración evaporativa, 68–69.
- Ministerio de Agricultura - República de Colombia. Decreto 1541 del 26 de julio de 1978, Pub. L. No. 1541 (1978). Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2005). La Cadena del Caucho en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica. 1991-2005., (63), 40.
- Ministerio de Desarrollo Economico. (2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000. Retrieved May 7, 2014, from http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf
- Oliveros, E. (2009). Alcantarillado Definición y Clasificación. Retrieved September 2, 2014, from <http://es.scribd.com/doc/23068566/Alcantarillado-Definicion-y-Clasificacion>
- Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa Maria Auxiliadora de Caldas, Antioquia. *Gestión Y Ambiente*, 13(2), 25–40.
- Perales-Momparler, S. (2008). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Retrieved from <http://www.zaragoza.mobi/contenidos/medioambiente/cajaAzul/33S8-P3-SaraPeralesACC.pdf>
- Portafolio. (2015). Municipios racionamiento agua El Niño Colombia | Portafolio.co. Retrieved from <http://www.portafolio.co/especiales/fenomeno-del-nino-emergencia-sequia/municipios-racionamiento-agua-el-nino-colombia>

- PROCOLOMBIA. (2014). Automotriz - Invierta en Colombia. Retrieved April 21, 2015, from <http://www.inviertaencolombia.com.co/sectores/manufacturas/automotriz.html>
- Rincon, J., Lopez, R., Balanta, L., & Pareja, C. (2014). Diseño de acueducto y alcantarillado, 3–5.
- Rocha Castro, E. (2010). *Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas*. (U. A. de Chihuahua, Ed.). Mexico. Retrieved from <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>
- RODES. (2015). Qué es el embrague de un coche y qué elementos lo forman. Retrieved October 18, 2015, from <http://www.ro-des.com/mecanica/sistema-de-embrague-y-sus-elementos/>
- S&P Dow Jones Indices LLC. (2012). *SECTOR CLASSIFICATION: STRUCTURE & DEFINITIONS*.
- Skymer. (2015). Información Limpiador ultrasónico industrial. Retrieved October 18, 2015, from http://es.made-in-china.com/co_skymer/product_China-Professional-Industrial-Ultrasonic-Cleaner-Machine-for-Car-Parts-Diesel-Parts-Metal-Parts-Cleaning_eusuegiyg.html
- Solá, M., & Pere. (1991). *Tratamientos térmicos de los metales*. Retrieved from <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=4W5--vnDlvGC&pgis=1>
- Talleres Barinas. (2015). Intruducción al abastecimiento de agua.
- TecniSuelos. (2009). ESTUDIO DE SUELOS PARA INTERCAMBIO VIAL DE LA CALLE 71 SOBRE EL RIO MEDELLIN , MUNCIPIOS ITAGUI Y SABANETA, (72).
- TERRA. (2007). El precio del agua está aumentando en todo el mundo. Retrieved October 20, 2015, from <http://www.terra.org/categorias/articulos/el-precio-del-agua-esta-aumentando-en-todo-el-mundo>
- Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. (2003). Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia Para Consumo Humano, 9.
- USA Centre for Science and Enviroment. (n.d.). INTERNATIONAL WATER-HARVESTING AND RELATED FINANCIAL INCENTIVES.